



**MAGNA Naturstein GmbH
Im Mittelfeld 1
39326 Loitsche**

Vorhaben:

**„Oberflächenmodifikation von Naturstein- und Feinsteinzeug-
Bodenplatten für minimalen Einsatz von Reinigungsmitteln II“**

**Abschlussbericht über ein FuE-Projekt,
gefördert unter dem Aktenzeichen AZ 29514 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

vorgelegt von:

**Jochen Thumm
Herbert Fahrenkrog
Ulf Mielke
Kai Nebel
Martin Tubach
Catalina Malaïet
Quang-Xuan Vu**

Loitsche, den 31.01.2015

1. Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	29514/02	Referat	21/2	Fördersumme	208.226,00 €
----	-----------------	---------	-------------	-------------	---------------------

Antragstitel „Oberflächenmodifikation von Naturstein- und Feinsteinzeug-Bodenplatten für minimalen Einsatz von Reinigungsmitteln (2.Phase)“

Stichworte Oberflächenmodifikation, Natursteinbodenplatten, Reinigungsmittel

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
18 Monate	01.12.2012	31.01.2015	Phase II

Zwischenberichte alle 6 Monate Kurzbericht

Bewilligungsempfänger	MAGNA Naturstein GmbH Im Mittelfeld 1 39326 Loitsche	Tel	039208/271-13
		Fax	039208/23407
		Projektleitung Herr Jochen Thumm	
		Bearbeiter Herr Jochen Thumm	

Kooperationspartner Reutlingen Research Institute (RRI), Hochschule Reutlingen

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Bodenbeläge aus Feinsteinzeug und Naturstein werden poliert und zur Gewährleistung ausreichender Rutschfestigkeit im Innenbereich (Bewertungsgruppe der Rutschsicherheit R9 und R10) werden durch Laserbehandlung mikroskopischen Vertiefungen erzeugt. In Laborversuchen wurden bei einigen Materialien deutliche Vorteile bzgl. des Anschmutzverhaltens und Reinigung festgestellt. Es sollte untersucht werden, inwieweit dadurch in der Praxis tatsächlich eine Reduktion des Reinigungsaufwandes und der damit verbundenen Umweltbelastung möglich ist, im Gegensatz zu anderen Oberflächenbearbeitungen, die die Bewertungsgruppe "R9" erzielen. Die Oberflächenbehandlung und die damit verbundene Reinigung sollten optimiert werden hinsichtlich minimalem Aufwand und minimalem Einsatz von Reinigungsmittel für Unterhaltsreinigung und der dazugehörigen Grundreinigungs- und Zwischenreinigungsfrequenz. Ziel war eine Reduktion um bis zum Faktor 2. Dazu sollten für verschiedene typische und weit gebräuchliche Bodenplatten aus Feinsteinzeug und Naturstein Abstand und Größe der Vertiefungen optimiert und kontrolliert werden. Die Dosierungen der Reinigungsmittel sollten, ausgehend von der derzeitigen Herstellervorgabe, reduziert werden. Die Abstände zwischen den Grundreinigungen, die mit einer starken Umweltbelastung verbunden sind, sollten vergrößert werden. Begleitend sollte eine Methode für die Vorhersage und Messung der Verschmutzung entwickelt werden. Diese wird in der Entwicklung benutzt und soll nach dem Projekt für die Optimierungen an anderen Materialien, z. B. PVC oder Polyolefinböden nutzbar sein und auch als Vorarbeit für eine Zertifizierung der Böden nach LEED dienen. Bislang gab es zwar Hinweise für die Vorteile bzgl. Reinigung, die aber weder optimiert noch belegbar waren. Deshalb hatte sich dieses Verfahren noch nicht durchgesetzt. Der Marktanteil liegt bei Naturstein < 10%, im Bereich Feinsteinzeug weit niedriger.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

- AP1 Feldversuche 1
- AP 2 Methodenentwicklung
- AP 3 Prozessoptimierung
- AP 4 Feldversuche 2
- AP 5 Optimierung Stempeltest
- AP 6 Stempelentwicklung 2
- AP 7 Feldversuche 3
- AP 8 Entwicklung Qualitätssicherung

Ergebnisse und Diskussion

Von den unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen, die die Rutschsicherheitsnorm ‚R9‘ erfüllen, schneidet die Laserbehandlung hinsichtlich der Reinigungsfähigkeit der Fliesen bei der Unterhaltsreinigung am besten ab. Dies wurde in dieser Projektphase für 2 Materialien quantifiziert.

Die einzelnen Laserparameter wurden in Bezug auf das Reinigungsverhalten diskriminiert. Die optimale laserbehandelte Oberfläche der Naturstein - Padang Dunkel Fliesen (K4) weist im Feldversuch ein mindestens 10% besseres Reinigungsverhalten als die optimalen gesandelten Oberflächen (FSZ Haid Gesandelt Gesandelt) sowie ein um mindestens 20% besseres Reinigungsvermögen als die geschliffenen Oberflächen auf. Noch bessere Ergebnisse erzielten die gelaserten Magna FSZ Fliesen, welche ein bis zu 40% besseres Reinigungsverhalten als die gesandelten Oberflächen und mindestens 50% als die geschliffenen PD K120 Oberflächen zeigten.

Die zeitliche Änderung der Schmutzaufnahme und Reinigungsfähigkeit der untersuchenden Materialien wurde durch die regelmäßige Abnutzung der Fliesenoberflächen simuliert. Die Überprüfung erfolgte über mehrere Wochen durch verschiedene Messreihen innerhalb der Feldversuche, indem die Fliesen regelmäßig und definiert angeschmutzt, gereinigt und anschließend gemessen wurden.

Ein Vergleich des Reinigungsverhaltens unterschiedlicher oberflächenbehandelten Fliesen wurde nach Materialparametern wie Behandlungsart, Laserparameter und die Art des Steins vorgenommen. Deutlich ist, dass optimal oberflächenmodifizierte Fliesen mittels Lasertechnik (FSZ Magna Laser) eine gleich gute Reinigungsfähigkeit wie die polierten Fliesen haben können – bei höherer Rutschsicherheit.

Es wurden unterschiedliche Methoden zur Oberflächenanalyse und zur Restschmutzaufnahme mittels Stempel entwickelt. Die Oberfläche der Fliesen wurde mit Hilfe des Digitalmikroskops analysiert und die Effektivität der Stempelmessmethoden festgestellt. Im Feldversuch wurden die bestehenden Messmethoden der Restschmutzaufnahmen mit Hilfe einer mobilen konstant definierten Prüfvorrichtung erfolgreich durchgeführt. Im Ergebnis zeigte sich Optimierungspotential.

Optimierung Stempelttest: Bei Untersuchungen zur Schmutzabsorption von verschiedenen textilen Reinigungsmedien für Steinoberflächen wurden mit dem Ultra-Mikrofasertuch von der Firma ALCLEAR® International GmbH die besten Ergebnisse erzielt.

Stempelentwicklung 2: Zur Bewertung des Restschmutzes direkt auf den Fliesen wurde eine Farbtafel erstellt. Weitere vier Messungen wurden innerhalb des Feldversuchs 2 mit dem neuen effektiven textilen Absorbers, dem Ultra-Mikrofasertuch durchgeführt. Die Brauchbarkeit der Methode wurde demonstriert. Im Feldversuch wurde ein reduzierter Einsatz von Reinigungsmitteln und Wasser erfolgreich praktiziert.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Feldversuche in der Betriebshalle und im Spinnereitechnikum der Hochschule Reutlingen dienen der Öffentlichkeitsarbeit, da hier ein reger Publikumsverkehr herrscht. Informationstafeln und Poster informierten über das Vorhaben. Das Projekt wurde noch an dem Tag der Offenen Tür (23.11.2013) präsentiert.

Im Forschungsmagazin der Hochschule Reutlingen, Ausgabe 2014 – S. 32, wurde das Projekt vorgestellt.

Das Projekt wurde auf der 46th International Detergency Conference (9.-11.04.2013, Düsseldorf) präsentiert: ‚Practice Orientated Correlation between Cleaning Behavior and Antislip Surface Modification by Laser Technology‘

Das Projektvorhaben wurde innerhalb einer Präsentation bei der Fa. Werner & Mertz, Mainz vorgestellt. Fa. Kaufland hat den Fliesenversuch in der 40. KW im Reutlingen Research Institute besichtigt. Ein Besuchsprogramm ist für Herrn Stegemann von der Bauabteilung und für Herrn Schramm vom internationalen Einkauf für Bodenbeläge wurde organisiert.

Fazit

Durch die Benutzung der optimal gelaserten Fliesenoberflächen wurde im Feldversuch eine Reduktion um mindestens 20% des Unterhaltsreinigungsaufwands erreicht. Damit ist eine Reduzierung der Reinigungsmittel und der damit verbundenen Umweltbelastung möglich. Mit anderen Oberflächenbearbeitungen der Bewertungsgruppe ‚R9‘ kann keine Reduktion beobachtet werden. Die Grundreinigungsfrequenz hängt generell von der subjektiven Schmutzwahrnehmung und vom Schmutzruckhaltevermögen ab. Beide Aspekte werden durch die Laserung der polierten Oberflächen positiv beeinflusst.

Inhaltsverzeichnis:

1. Projektkennblatt	2
I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen	1-5
II. Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen	1-7
1 Zusammenfassung	1-8
2 Einleitung: Zielsetzung und Anlass des Vorhabens	1-9
2.1 Ausgangssituation	1-9
2.2 Zielsetzung	1-10
2.3 Umweltrelevanz/ -entlastung	1-10
2.4 Inhaltliche Änderung/ Laufzeitverlängerung.....	1-11
3 Hauptteil	1-12
3.1 Darstellung der Arbeitsschritte.....	1-12
3.2 Ergebnisse und Diskussion	1-14
3.2.1 Feldversuch 1 (AP1)	1-14
3.2.2 Methodenentwicklung (AP2)	1-23
3.2.3 Material- und Prozessoptimierung (AP3)	1-31
3.2.4 Feldversuch 2 (AP 4)	1-33
3.2.5 Optimierung Stempeltest (AP5).....	1-40
3.2.6 Stempelentwicklung 2 (AP6)	1-42
3.2.7 Feldversuch 3 (AP7)	1-43
3.2.8 Entwicklung Qualitätssicherung, Übertragbarkeit auf weitere Materialien (AP8)	1-43
3.3 Ökologische Bewertung.....	1-45
3.4 Wirtschaftliche Bewertung	1-46
4 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation	1-47
5 Fazit	1-48
6 Literaturverzeichnis.....	1-49
7 Anhänge	1-49

I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildungen

Abbildung 1: Feldversuch im Gebäude 1 des RRI.....	1-15
Abbildung 2: Farbdifferenzen Padang Dunkel verschiedener Laserungen bei je 6 Messungen, jeweils nach Anschmutzung und Reinigung. Je höher die Farbdifferenz, desto mehr Restschmutz war nach der Reinigung noch auf der Platte.	1-17
Abbildung 3: Farbdifferenzen FSZ verschiedener Laserungen bei je 6 Messungen.....	1-17
Abbildung 4: Farbdifferenzen Padang Dunkel	1-18
Abbildung 5: Farbdifferenzen FSZ verschiedener Laserungen von den 4 erweiterten Messungen	1-18
Abbildung 6: Farbdifferenzen Padang Dunkel verschiedener Laserungen von allen 10 Messungen	1-19
Abbildung 7: Farbdifferenzen FSZ verschiedener Laserungen von allen 10 Messungen..	1-19
Abbildung 8: Farbdifferenzen Padang Dunkel Oberflächenmodifikationen.....	1-20
Abbildung 9: Farbdifferenzen FSZ Oberflächenmodifikationen.....	1-20
Abbildung 10: Farbdifferenzen PD und VB Oberflächenmodifikationen.....	1-21
Abbildung 11: Farbdifferenzen Padang Dunkel verschiedener Proben der polierten Oberfläche	1-21
Abbildung 12: Arizona Staub & Teststaub	1-23
Abbildung 13: Teststaub in Mischung mit Orange	1-24
Abbildung 14: Technische Darstellung - Prinzipielle Funktionsweise des mobilen Absorbers	1-25
Abbildung 15: Probenhalter und Führung des Probenhalters.....	1-26
Abbildung 16: Mobiles Absorberwerkzeug.....	1-26
Abbildung 17: Miniscan Spektrometer (Hunterlab)	1-27
Abbildung 18: Farbdifferenzen Padang Dunkel Oberflächenmodifikationen - Nassmessung	1-27
Abbildung 19: Farbdifferenzen FSZ Oberflächenmodifikationen - Nassmessung.....	1-28
Abbildung 20: Gereinigte Fliesenoberfläche vor dem Anschmutzen (Feinsteinzeug).	1-28
Abbildung 21: Angeschmutzte Fliesenoberfläche (Graustaub).....	1-29
Abbildung 22: Fliesenoberflächen nach dem Anschmutzen und Wischen.....	1-29
Abbildung 23: Fliesenoberflächen nach dem Anschmutzen, Wischen und Messung mit dem Baumwollpoliertuch.....	1-29
Abbildung 24: Feldversuch 2 im Spinnereitechnikum der Hochschule Reutlingen	1-33
Abbildung 25: Farbdifferenzen Oberflächenmodifikationen – Stempeltest mit Baumwolltuch	1-37
Abbildung 26: Farbdifferenzen Oberflächenmodifikationen – Stempeltest mit Mikrofaserstuch	1-37
Abbildung 27: Gesamtrestschatz Oberflächenmodifikationen – Dampfreiniger-Sauger-Filter Verfahren.....	1-38
Abbildung 28: Farbdifferenzen Oberflächenmodifikationen – Stempeltest mit Baumwolltuch – Reduzierung der Reinigungsmittel um Faktor 2.....	1-39
Abbildung 29: Farbdifferenzen unterschiedlicher textiler Reinigungsmedien – FSZ Laser	1-41
Abbildung 30: Farbdifferenzen unterschiedlicher textiler Reinigungsmedien – FSZ Gesandelt	1-41
Abbildung 31: Reinigungszyklus-Unterhaltsreinigung.....	1-50

Tabellen

<i>Tabelle 1: Abschätzung der Umwelteffekte</i>	1-11
<i>Tabelle 2: Balkenplan</i>	1-12
<i>Tabelle 3: Verlegeplan des 1. Feldversuches: FSZ = Feinsteinzeug von Villeroy-Boch, PD = Padang dunkel, K120 = geschliffen</i>	1-16
<i>Tabelle 4 Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren</i>	1-30
<i>Tabelle 5: Verlegeplan des 2. Feldversuches. Jedes Feld der Tabelle entspricht einer Bodenplatte. Alle Bodenplatten auf derselben Holzplatte (Untergrund) haben in der Tabelle die gleiche Farbe</i>	1-35
<i>Tabelle 6: Zusätzliche Felder beim 2. Feldversuch</i>	1-36
<i>Tabelle 7: Gesamtrestschmutz PD Oberflächenmodifikationen – Dampfreiniger-Sauger-Filter Verfahren</i>	1-38
<i>Tabelle 8: Gesamtrestschmutz FSZ Oberflächenmodifikationen – Dampfreiniger-Sauger-Filter Verfahren</i>	1-39
<i>Tabelle 9: Auswahl der Stoffe</i>	1-40
<i>Tabelle 10: Farbtafel zur optischen Analyse des Poliertuchs - Beurteilung des Anschmutzungsgrades</i>	1-42
<i>Tabelle 11: Farbtafel zur optischen Analyse des Poliertuchs - Beurteilung des Anschmutzungsgrades</i>	1-43
<i>Tabelle 12: Wasser- und Reinigungsmengen der UR für geschliffene NST- und FSZ-Bodenplatten</i>	1-49
<i>Tabelle 13: Wasser- und Reinigungsmengen der UR für gelaserte NST- und FSZ-Bodenplatten</i>	1-50
<i>Tabelle 14: Umweltwirkungen bei der UR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ-Bodenplatten nach 5 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend</i>	1-50
<i>Tabelle 15: Umweltwirkungen bei der UR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ-Bodenplatten nach 15 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend</i>	1-51
<i>Tabelle 16: Wasser- und Reinigungsmengen der geschliffenen NST- und FSZ-Bodenplatten bei der Zwischenreinigung. Bei gelaserten Platten steht in der Tabelle überall der Wert 0.</i>	1-51
<i>Tabelle 17: Umweltwirkungen bei der ZR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ-Bodenplatten nach 5 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend</i>	1-51
<i>Tabelle 18: Umweltwirkungen bei der ZR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ-Bodenplatten nach 15 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend</i>	1-52
<i>Tabelle 19: Umweltwirkungen bei der GR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ-Bodenplatten nach 5 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend</i>	1-52
<i>Tabelle 20: Umweltwirkungen bei der GR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ-Bodenplatten nach 15 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend</i>	1-52

II. Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

Begriffe

H-C-L Farbraum: ist ein Dreidimensionaler Raum, in der alle Farben durch eine farbgebende Methode dargestellt werden können. Wobei H für den Farbwinkel C die für Farbsättigung stehen. Die Helligkeit wird durch L beschrieben. Jede Farbe wird H-C- L Werte im Farbraum bestimmt.

Farbdifferenz ΔE : Differenz der LCH- Wert - Summen der Originalfliese und der angeschmutzten und gewischten Fliese. Je höher die Farbdifferenz, desto mehr Schmutz befindet sich noch auf der Fliese bzw. desto schwieriger ist die Fliese mittels Mikrofaserbezug zu reinigen.

Farbdifferenz Poliertuch: Differenz der LCH- Wert - Summen des Originaltuches (weiße Baumwolle) und des angeschmutzten Poliertuches. Je höher die Farbdifferenz des Poliertuches, desto mehr Schmutz wurde von der Fliese aufgenommen –desto größer war die oberflächenabhängige Schmutzanhaftung. Die Differenzen zwischen der 1. /2./3. Politur können einen Hinweis auf die „Hartnäckigkeit“ der Schmutzanhaftung und die absolute Schmutzmenge geben.

Schmutzaufnahme: Desorption von Schmutzpartikeln

Farbmessung: farbmetrische Untersuchung der Schmutzaufnahme eines textilen Absorbers

Absorbertuch: ist ein rechteckiges Tuch, das aus reißfester Baumwolle oder Mikrofaser besteht und. Das Absorbertuch dient der Aufnahme des Restschmutzes.

Werkzeug / Fliesen-Absorber: Auch als Stempel oder Restschmutz- Aufnehmer genannt und dient der Restschmutzbestimmung. Die Funktion des Werkzeugs besteht darin, einen konstanten Druck bei dem Restschmutzaufnahmeprozess zu gewährleisten sowie die Bildung eines kreisförmigen Farbflecks auf dem Absorbertuch zu ermöglichen. Diese Prüfvorrichtung wurde für den mobilen Einsatz konzipiert.

Gesandelt: Oberfläche nach Bearbeitung mit Mikro-Stahlkugeln

Abkürzungen

FS	Feldversuche
FSZ	Feinsteinzeug
K120	Geschliffen mittels Korundschleifkörpern
PD	Padang Dunkel, Naturstein (Granodiorit)
R9	Bewertungsgruppe der Rutschsicherheit im Innenbereich nach BGR 181
G 640	Naturstein aus China (Granit)
G 603	Naturstein aus China (Granit)
RÖWE	Kurzwort für Feinsteinzeug der Firma Röwe
Magna FSZ	Feinsteinzeug der Firma Magna mit K2 Laserung

1 Zusammenfassung

Verschiedene Bodenbeläge aus Feinsteinzeug und Naturstein wurden poliert und anschließend mit Hilfe eines Laserstrahl mit mikroskopischen Vertiefungen versehen, um eine ausreichende Rutschfestigkeit im Innenbereich nach BGR 181 zu gewährleisten (Bewertungsgruppe der Rutschsicherheit R9 und R10). Zusätzlich sollte der benötigte Reinigungsaufwand der Fliesen, in Gegensatz zu den anderen Oberflächenbehandlungen, die die Bewertungsgruppe ‚R9‘ erfüllen, um bis zu Faktor 2 reduziert werden. Es wurde untersucht, inwieweit tatsächlich eine Reduktion des Reinigungsaufwandes und der damit verbundenen Umweltbelastung möglich ist. Diese Oberflächenbehandlung und die Reinigung wurden optimiert hinsichtlich minimalem Aufwand und minimalem Einsatz von Reinigungsmittel für Unterhaltsreinigung und der dazugehörigen Grundreinigungsfrequenz.

Durchgeführte Untersuchungen

- Laborversuche und 3 Feldversuche
- Anschmutz- und Reinigungsverhalten
- Restschmutzaufnahme
- Farbmetrische Messung des Restschmutzes
- Digitalmikroskopische Analyse zur Überprüfung der Messmethoden
- Quantifizierung des Restschmutzes
- Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit im zeitlichen Verlauf

Entwicklungen

- Zusätzliche Messungen (Nassmessung, erweiterte Restschmutzaufnahme der gelaserten Fliesen)
- Restschmutzaufnahme mit Hilfe eines mechanischen und mobilen Werkzeugs, Fliesen - Absorber
- Farbmetrische Methode zur Restschmutzbestimmung
- Farbtafel zur Bewertung des Restschmutzes direkt auf den Fliesen
- Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren zur Restschmutzquantifizierung
- Festlegung und Standardisierung der Prüfmethoden

Erzielte Ergebnisse:

Eine Reduktion des Reinigungsaufwandes und der damit verbundenen Umweltbelastung wurde für gelaserte Bodenplatten im Gegensatz zu anderen Oberflächenbearbeitungen die die erfordernten Kriterien erfüllen, durch statistischen Messreihen im Feldversuch nachgewiesen.

Die optimale laserbehandelte PD Oberfläche (K4) weist ein mindestens 10% besseres Reinigungsverhalten als die optimalen gesandeten Oberflächen (FSZ Haid Gesandelt Gesandelt) sowie ein um mindestens 20% besseres Reinigungsvermögen als die geschliffenen Oberflächen auf. Die gelaserten Magna FSZ Fliesen, weisen ein bis zu 40% besseres Reinigungsverhalten auf als die gesandeten Oberflächen und mindestens 50% besser als die geschliffenen Oberflächen.

Bei der Untersuchung verschiedener Tuchmaterialien als Reinigungsmedien für Steinoberflächen erwies sich Mikrofaserstoff am Geeignetsten.

Die Ergebnisse haben eine statistische Grundlage, da jeweils mehrere Messungen der gleichen Fliesenart zu Grunde liegen. Die in dieser Arbeit ermittelten Werte sind Ergebnisse einer Serie von Messungen mit definierten Arbeitsschritten.

Kooperationspartner:

Hochschule Reutlingen, Reutlingen Research Institute.

Das Vorhaben wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert unter dem Aktenzeichen AZ 29514.

2 Einleitung: Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

2.1 Ausgangssituation

Bislang werden Bodenplatten aus Feinsteinzeug und Naturstein in Innenbereichen nach der Rohblockzerteilung mittels Gatter oder Multiblattsäge geschliffen und teilweise poliert. In der Regel erfolgt zur Erlangung der jeweils notwendigen Rutschfestigkeit eine nachträgliche, partielle Aufrauhung durch eine mechanische Bearbeitung, z.B. durch Sandstrahlen, Beschuss mittels Impulslasern oder durch chemisches Ätzen mittels Flusssäure. Bei Feinsteinzeug kommt noch eine pressraue Oberfläche hinzu, die bei der Herstellung des Rohscherbens beim Pressvorgang des Ausgangspulvers entsteht. Die Aufrauhung der Oberflächen ist mikroskopischer Natur.

Jede Bearbeitung oder Behandlung zur Rutschsicherheit zieht automatisch eine auf die jeweilige Oberfläche bezogene Anschmutzungsproblematik mit sich, die innerhalb eines endlichen Zeitraums zum Verlust der Rutschsicherheit durch die verbleibenden Rückstände führen kann, wenn keine Grundreinigungen fachgerecht durchgeführt werden. Keine noch so gute Unterhaltsreinigung kann eine Grundreinigung grundsätzlich verhindern. Ursache ist einerseits die erhöhte Schmutzanhaftung durch die gewollte Erhöhung der Mikrorauigkeit. Entscheidend dabei ist u. a. die geometrische Form der Mikroporen und daraus resultierend die Möglichkeit, dass innerhalb des Porenraums reinigungsaktive Stoffe einen ausreichenden Spülraum vorfinden. Des Weiteren neigen insbesondere die zu kleinen erzeugten Poren zu einer „Verstopfung“ und somit zum Verlust der Rutschsicherheit. Dies gilt besonders bei Bodenplatten mit geätzten und geschliffenen Oberflächen. Die Zusammensetzung des Schmutzes hat Einfluss und ist geografisch unterschiedlich. Beispielsweise sind Partikel aus Ruß stärker anhaftend, die man eher in Großstädten findet, als in ländlichen Gebieten. In der Rheinschiene sind die meisten Straßenschmutze mit scharfkantigen, quarzhaltigen Stäuben versehen, die sich bei bestimmten Korngrößen und Formen besonders in die kleinen Zwischenräume „quetschen“ und bei einer Unterhaltsreinigung nur schlecht zu entfernen sind.

Somit steigt, in Abhängigkeit von der Bearbeitung, im Laufe der Jahre die notwendige Grundreinigungsfrequenz teilweise dramatisch an, einhergehend mit einer höheren Dosierung der Unterhaltsreinigungsmittel. Die bei der Grundreinigung verwendeten Verfahren und Chemikalien sind wesentlich stärker Umwelt belastend, da ihre Anteile an Alkalienbildner und Tensiden wesentlich höher sind als bei Unterhaltsreinigungen. Eine Verminderung der Anfälligkeit gegenüber Schmutzen und somit geringerem Einsatz von Reinigungsmitteln wäre wünschenswert.

Seit 11 Jahren gibt es von Magna polierte Naturstein- und Feinsteinzeugplatten, die durch Laserbehandlung mit Nd_Yag die Bewertungsgruppen der Rutschsicherheit R9 und R10 aufweisen. Die Optimierung erfolgte bislang einzig in Richtung Rutschfestigkeit und minimiertem Lasereinsatz zur Erfüllung der Anforderungen der BGR 181, basierend auf den Normen DIN 52230, 51131 und 51097 (nass belastete Barfußbereiche).

In einer Voruntersuchung mit dem RRI wurde in einem einfachen Test für einige Materialien bei Verschmutzung mit Standardstaub Arizona-Rot z.T. eine höhere Reinigungsfähigkeit der Laser-Grip Platten festgestellt. Die Ergebnisse sind für Verschmutzungen mit organischem Material oder Sonderschmutz (z.B. Ruß), wie sie für deutsche Verhältnisse eher typisch sind, nicht ohne weiteres übertragbar:

Die laserbehandelten Oberflächen weisen, nach einem definierten Anschmutzungs- und Reinigungsprozess, eine erheblich geringere Restverschmutzung auf, als die gesandeten. Für andere Platten war das Ergebnis von Platte zu Platte heterogen durch die natürliche Inhomogenität der Natursteine. Für andere Plattenmaterialien war die Behandlung auch ohne Vorteil, da deren Mikrorauigkeit bearbeitet und unbearbeitet zu einem schlechten

Ergebnis führte. Dies lag an der schlechten Reinigungsfähigkeit des unbearbeiteten Materials. Sowohl die Charakterisierung des Ausgangsmaterials als auch die Messmethode waren absolut unzureichend für belastbare Aussagen. Dass die Reinigung leichter ist, konnte nicht in jedem Fall belegt werden, doch der Trend wurde erkannt.

In Phase I des Projektes ‚Oberflächenmodifikation von Naturstein- und Feinsteinzeug-Bodenplatten für minimalen Einsatz von Reinigungsmitteln‘ wurden verschiedene Methoden und Testaufbauten entwickelt sowie bisherige Verfahren optimiert und weiterentwickelt. Die Versuchsreihen wurden mit folgenden Materialien durchgeführt: Natursteine Granit China Kristall G603 (am häufigsten verwendet im Graubereich in Deutschland), Impala, Röwe, Padang Dunkel und Feinsteinzeug. Es wurden mikroskopische und digitalmikroskopische Untersuchungen der Oberflächen der untersuchten Materialien durchgeführt. Zur Absicherung und Weiterentwicklung sollte Phase II dienen.

2.2 Zielsetzung

Es soll untersucht werden, inwieweit durch die Kombination von Polieren und Lasern von Bodenbelägen aus Feinsteinzeug und Naturstein in der Praxis tatsächlich eine Reduktion des Reinigungsaufwandes und der damit verbundenen Umweltbelastung möglich ist, verglichen mit anderen Oberflächenbearbeitungen, die die Bewertungsgruppe ‚R9‘ erzielen. Die Oberflächenbehandlung und die damit verbundene Reinigung sollen optimiert werden hinsichtlich minimalem Aufwand und minimalem Einsatz von Reinigungsmittel für Unterhaltsreinigung und der dazugehörigen Grundreinigungs- und Zwischenreinigungsfrequenz. Ziel ist eine Reduktion um bis zum Faktor 2. Dazu sollen für verschiedene typische und weit gebräuchliche Bodenplatten aus Feinsteinzeug und Naturstein, Abstand und Größe der Vertiefungen optimiert und kontrolliert werden. Die Dosierungen der Reinigungsmittel sollen, ausgehend von der derzeitigen Herstellervorgabe, reduziert werden. Die Abstände zwischen den Grundreinigungen, die mit einer starken Umweltbelastung verbunden sind, sollen vergrößert werden. Begleitend soll eine Methode für die Vorhersage und Messung der Verschmutzung entwickelt werden. Diese wird in der Entwicklung benutzt und soll nach dem Projekt für die Optimierungen an anderen Materialien, z. B. PVC- oder Polyolefin-Böden nutzbar sein und auch als Vorarbeit für eine Zertifizierung der Böden nach LEED dienen. Bisher gibt es zwar Hinweise für die Vorteile bzgl. Reinigung, die aber weder optimiert noch belegbar sind. Deshalb hat sich dieses Verfahren noch nicht durchgesetzt.

Aufgrund der bisherigen Entwicklung aus Phase I müssen nun die neuen Erkenntnisse mit Praxis- und Testverfahren abgeglichen und die Potentiale der „positiv“ getesteten Platten herausgearbeitet werden. Hierzu ist es notwendig, bereits bestehende Methoden und Verfahren zu optimieren und praxisnahe Methoden und Verfahren zu finden und weiter zu entwickeln. Es müssen entsprechende Feldversuche durchgeführt werden, um praxisnahe und vor allem aussagekräftige Untersuchungsdaten zu erhalten. Dies ist auch wichtig, vor allem in Hinblick auf die Ermittlung statistisch signifikanter Ergebnisse, die bisher nicht sichergestellt werden konnten. Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Entwicklung in Phase II sind Tests des entwickelten Stempels sowie eine Weiterentwicklung des Stempels.

Reinigungsphase/ Reiniger und Fliesen werden parallel zu den anderen Entwicklungen weiterentwickelt. Dabei müssen weitere Laservarianten und Materialien der verschiedenen Hersteller getestet werden, um Vergleiche ziehen zu können. Im Laufe des letzten Feldversuches sollen Vergleiche gezogen und eine vollständige Ökobilanz erstellt werden.

2.3 Umweltrelevanz/ -entlastung

Ausgehend von jährlichen Zubaumengen in Deutschland und derzeit verwendeten Reinigungsmengen und –konzentrationen wird pro Jahr ein theoretisches Einsparpotenzial von 2.500 m³ Reinigerkonzentrat und 9.800 m³ Grundreinigerkonzentrat abgeschätzt. Nach 15

Jahren hätte man bei unverändertem Reinigungseffekt und gleicher Zubaurate eine 15-fache Einsparung. Dazu kommt die Einsparung an Trinkwasser, das für die Reinigung verwendet wird: 350.000m³ im 1. Jahr, siehe Tabelle 1.

Derzeit werden nur ca. 5% der Natursteinplatten und des Feinsteinzeugs gelasert, da die Kosten für das Polieren und das anschließende Lasern zu ca. 10% höheren Anschaffungskosten führen. Die erwarteten Einsparungen an Reinigungsaufwand und Reinigungsmitteln würden diese Kosten schon nach ca. 1 Jahr wieder amortisieren. Dies wäre vor allem für Zweckbauten ein Argument, die umweltfreundliche Technologie einzuführen. Ein kleinerer Teil des Marktes würde trotz höherer Life-Cycle Kosten und wegen der Optik bei matten, ungelaserten Oberflächen bleiben.

Zubaupotenzial	5.000.000	m² Naturstein p.a. neu in D
	60.000.000	m² Feinsteinzeug p.a. neu in D
Unterhaltsreinigung	240	Zahl der Unterhaltsreinigungen p.a. Standard
	0,8%	Konzentration Magic Maxx im Unterhaltsreiniger
	0,08	l Unterhaltsreinigerflotte / m² / Reinigung
	19,2	l Unterhaltsreinigerflotte / m² p.a.
	19,2	l Wasser / m² pro Reinigung p.a.
	1.248.000	m³ p.a. Wasser für maximales Zubaupotenzial eines Jahres
	9.984	m³ p.a. Unterhaltsreinigungsschemie (Magic Maxx)
Einsparung	20%	Einsparung durch Laserung (1x pro 5 Tage)
bei max. Zubau 1 Jahr	249.600	m³ p.a. Einsparung Trinkwasser, alle Neuverlegungen
	1.997	Einsparung m³ p.a. Unterhaltsreinigungsschemie (Magic Maxx)
max. Zubau 15 Jahre	3.744.000	m³ p.a. Einsparung Trinkwasser, alle Neuverlegungen
	29.952	Einsparung m³ p.a. (MagicMaxx)

Zwischenreinigung	12	Zahl der Zwischenreinigungen p.a. Standard
zusätzlich	0,8%	Chemie pro Grundreiniger (Vol. %) (insgesamt 1,6%)
	0,08	l Zwischenreinigerflotte / m² (Wasser wie Unterhaltsreinigung)
	0,08	l Wasser / m² pro Reinigung (gleich wie bei Unterhaltsreinigung)
	62.400	m³ p.a. Wasser (gleich wie bei Unterhaltsreinigung)
	499	m³ p.a. Zwischenreinigungsschemie (Magic Maxx)
Einsparung	100%	Einsparung durch Laserung
bei max. Zubau 1 Jahr	499	Einsparung m³ p.a. Zwischenreinigungsschemie (Magic Maxx)
max. Zubau 15 Jahre	7.488	Einsparung m³ p.a. (MagicMaxx)

Grundreinigung	2	Zahl der Grundreinigungen p.a.
	25%	Grundreinigerchemie pro Grundreinigung (Vol.)
	0,9	l Grundreiniger / m² (+1,5 l/m² Wasser zum Nachspülen)
	2,4	l Wasser / m² pro Reinigung
	312.000	m³ p.a. Wasser, alle Neuverlegungen
	29.250	m³ p.a. Grundreinigungsschemie (Bendural Forte Konzentrat)
Einsparung	33%	Einsparung durch Laserung (alle 9 statt alle 6 Monate)
bei max. Zubau 1 Jahr	103.990	m³ p.a. Einsparung Trinkwasser, alle Neuverlegungen
	9.749	Einsparung m³ p.a. Grundreinigungsschemie (Konzentrat)
max. Zubau 15 Jahre	1.559.844	m³ p.a. Einsparung Trinkwasser, alle Neuverlegungen
	146.235	Einsparung m³ Bendural Forte p.a. nach 15 Jahren

Gesamteinsparung	353.590	m³ Wasser p.a. im 1. Jahr
nach 1 Jahr	12.245	m³ Reinigungsmittel (unverdünnt) p.a. im 1. Jahr

Gesamteinsparung	5.303.844	m³ Trinkwasser p.a. nach 15 Jahren Zubau
nach 15 Jahren	183.675	m³ Reinigungsmittel p.a. nach 15 Jahren Zubau

Tabelle 1: Abschätzung der Umwelteffekte

2.4 Inhaltliche Änderung/ Laufzeitverlängerung

Wegen Verzögerungen bei der Produktion der Bodenplatten und damit der Installation des Feldversuches war eine Laufzeitverlängerung bis 30.09.2014 erforderlich.

3 Hauptteil

3.1 Darstellung der Arbeitsschritte

AP	Arbeitspakete	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
1	Feldversuche 1						MS6
2	Methodenentwicklung			MS2		MS4	
3	Material- und Prozessoptimierung	MS1			MS3		
4	Feldversuche 2						MS6
5	Optimierung Stempeltest						
6	Stempelentwicklung 2					MS5	
7	Feldversuche 3						MS6
8	Entwicklung Qualitätssicherung, Übertragbarkeit auf weitere Materialien						MS7

Tabelle 2: Balkenplan

Feldversuche 1 (RRI unter Mitwirkung von Magna)

Der Feldversuch diente zur Betrachtung des Reinigungsverhaltens der Fliesen unter Praxisbedingungen, mit dem Ziel Langzeiterfahrungen zu sammeln.

Es wurde sowohl Feinsteinzeug als auch Natursteinfliesen jeweils in polierter als auch aufgerauter Ausführungen verlegt. Anschließend passierten Fußgänger die verlegte Fliesenfläche. Beim Feldversuch sind die Versuchsparameter die Art des Fliesenmaterial, die Art der Laserbehandlung, die Art der Oberflächenmodifikation/ Rutschfestausrüstung sowie die Auswirkungen des zeitliche Verlauf zu beachten.

Methodenentwicklung (RRI unter Mitwirkung von Magna)

Es erfolgte eine Weiterentwicklung der Methoden in Hinsicht auf eine beschleunigte, realistische Abbildung der Langzeitstabilität sowie einer sicheren Methode zur Bewertung des Restschmutzes direkt auf den Fliesen. Die Methodik zur Bewertung des Anschmutzverhaltens wurde verbessert. Eine sichere Korrelation zwischen den Fliesenmaterialarten, Schmutzarten und der Anschmutzung/Reinigung wurde sichergestellt.

Material und Prozessoptimierung (RRI unter Mitwirkung von Magna)

Für die Differenzierung der einzelnen Laserparameter wurde eine erweiterte Restschmutzaufnahme innerhalb des ersten Feldversuches bei gelaserten Fliesen abgeschlossen. Innerhalb des zweiten Feldversuches wurde ein Prozess zur Messung und Schmutzquantifizierung mithilfe von Dampfreiniger und Wassersauger durchgeführt. Die aufgetragene Schmutzmenge pro gesamte Fliesenfläche wurde variiert. Die zeitlichen Abstände zwischen den einzelnen Messungen einer Versuchsreihe wurden verringert.

Feldversuch 2 (RRI unter Mitwirkung von Magna)

Der Feldversuch 2 wurde unter Beachtung der zuvor vorgenommenen Optimierungsmaßnahmen mit den Materialien Naturstein sowie Feinsteinzeug jeweils in unpolierter, sowie poliert und gelasert Ausführung durchgeführt. Durch die Einführung der Messmethode mit Dampfreiniger und Wassersauger wurde zusätzlich die Quantifizierung des Restschmutzes möglich.

Optimierung Stempeltest (RRI unter Mitwirkung von Magna)

Die Anschmutzung und Reinigung wurde durch Erproben des Stempeltests mit verschiedenen Druckkräften, Steuerflächen und Verfahrensgeschwindigkeiten optimiert. Verschiedene Tuchmaterialien wurden im Hinblick auf den Einsatz als Reinigungsmedium für Steinoberflächen erprobt. Die besten Ergebnisse wurden mit Mikrofasertücher erreicht.

Stempelentwicklung 2 (RRI unter Mitwirkung von Magna)

Die Stempelfunktionalität wurde unter Berücksichtigung der Prozessparameter optimiert. Anschließend wurden Prozessstandards definiert. Ein Werkzeug zur einfachen Handmessmethode wurde im Unterauftrag entwickelt, um vor Ort die Restschmutzaufnahme mit Hilfe des Absorbieretuchs zu ermöglichen. Dies wird nachträglich visuell mit einem Farbstandard abgeglichen.

Feldversuch 3 (RRI unter Mitwirkung von Magna)

Aufgrund der Vorversuche und der Feldversuche 1 und 2 konnte der positive Effekt der Laserung auf das Reinigungsverhalten bereits bei unterschiedlichen Steinarten nachgewiesen werden. Die Untersuchungsparameter wurden im Hinblick auf die praktische Anwendung deutlich erweitert. Innerhalb des Feldversuchs 2 wurde die neue Messmethode durch den mobilen Absorber umfassend getestet und verbessert. Darüber hinaus konnte die Quantifizierung des Restschmutzes durch Variation der Schmutzdesorptionsmethoden verbessert werden. Somit sind keine neuen Erkenntnisse aus dem Feldversuch 3 zu erwarten. Aus diesem Grund konnte darauf verzichtet werden.

Entwicklung der Qualitätssicherung, Übertragbarkeit auf weitere Materialien (Magna unter Mitwirkung RRI)

Das angestrebte Qualitätsmerkmal „geringster Reinigungsaufwand“ muss in der Produktion sicher gestellt sein. Dazu wurde von Magna eine Methode entwickelt. Dies beinhaltet:

- Eine reproduzierbare und sichere Vorbehandlungsmethode
- Erarbeiten relevanter Qualitätsmerkmale für die Vorbehandlung, Laserbearbeitung und Nachbehandlung nach dem Lasern
- Erarbeitung von Spezifikationen für Rohmaterial, Eingangskontrolle, Laserbehandlung, Verlegung und Reinigung
- Methode zur Qualitätssicherung, Festlegung einer Prüftechnologie
- Definition von Anschmutzklassen
- Entwicklung statistisch signifikanter Messmethoden
- Prüfung der Voraussetzungen (Eignung) für Umweltzertifizierung, dazu Prüfung der Umwelteffekte durch externe Stelle (Unterauftrag)
- Entwicklung eines Schulungskonzeptes für den Gebäudereiniger auf Basis des anerkannten Stands der Technik, analog FRT - Leitfaden für mineralische Bodenbeläge. (www.frt.de)
- Vorarbeiten zur Erstellung der nach BstV (Baustellenverordnung) notwendigen Wartungsanleitung für Sicherheitsbaudetails. Dies ist eine explizit ausgestellte Reinigungsanleitung mit Piktogrammen.

3.2 Ergebnisse und Diskussion

3.2.1 Feldversuch 1 (AP1)

Der Feldversuch 1 wurde im Zeitraum September 2012 – Dezember 2013 durchgeführt und in Phase I (AP2 des ursprünglichen Projekts) und Phase II (AP1 des Folgeprojekts) geteilt.

Der Feldversuch sollte Erkenntnisse über das Reinigungsverhalten der Fliesen unter Praxisbedingungen bringen. Der Verlegeplan des Feldversuches sowie der Reinigungsplan wurden in Zusammenarbeit mit Magna GmbH ausgearbeitet und erstellt. Für die Verlegung der Fliesen wurde die Firma Wolfram Hörnig Steinmetzgeschäft beauftragt.

Die Versuchsparameter des Feldversuches waren:

- Fliesenmaterial (Feinsteinzeug = FSZ und Naturstein = Padang Dunkel von der Firma Magna GmbH)
- Art der Laserbehandlung (K1 – K7)
- Oberflächenmodifikation / Rutschfestausrüstung (,R9‘): gelasert, pressrau, gesandelt, poliert, geschliffen
- Zeitlicher Verlauf (Nutzung, Zahl der Reinigungen)

Phase I

Die erste Phase des Projekts wurde im Februar 2013 abgeschlossen und die Ergebnisse wurden im letzten Projektbericht dargestellt (Vorhaben: „Oberflächenmodifikation von Naturstein- und Feinsteinzeug- Bodenplatten für minimalen Einsatz von Reinigungsmitteln“; „Abschlussbericht über ein FuE-Projekt, gefördert unter dem Aktenzeichen AZ 29514 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt“)

Die Versuchsfläche war unterschiedlich stark frequentiert, mit einer Begehung von ca. 200 - 300 Personen täglich. Die Fliesen wurden dreimal pro Woche gereinigt. Um die Verschmutzung zu beschleunigen wurden nach der Reinigung gemischte Stäube über die Fliesen gestreut (90% Teststaub + 10% Arizona Staub).

Nach einem Begehungszeitraum von 4 Wochen Intervalle wurde die Reinigungsfähigkeit mittels Farbmessung bestimmt – dazu wurden die Fliesen nach Standardvorgaben gereinigt und nach dem Abtrocknen mittels Stempeltuchmethode dreimal vermessen. Der Stempel wurde manuell über den Messfleck nach einem vordefinierten Bewegungsablauf geführt. Der Messfleck war 10cm*10cm groß.

Fazit der Phase I des Feldversuches

- Bei Padang Dunkel brachten die Laserbehandlungen K4 und K1 die besten Ergebnisse hinsichtlich des Reinigungsverhaltens
- Bei Feinsteinzeug zeigten K1, K2 und K6 das geringste Schmutzrückhaltevermögen
- Generell waren die einzelnen Laserparameter noch schwer zu diskriminieren
- Die Reproduzierbarkeit der Messungen innerhalb des Feldversuches war gut
- Von der unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen, die die Bewertungsgruppe der Rutschsicherheit ,R9‘ erfüllen, hat die Laserbehandlung, bezüglich der Reinigungsfähigkeit der Fliesen, am besten abgeschnitten

Die polierten Oberflächen, die für den öffentlichen Bereich nicht geeignet sind (keine ,R9‘), zeigten erwartungsgemäß das geringste Schmutzrückhaltevermögen. Daraus resultiert, dass eine Minimierung der Umweltbelastung durch Reinigungskemikalien der Unterhaltsreinigung und der Vorgabe ,R9‘ am ehesten durch eine gelaserte Oberfläche erzielt werden kann.

Die Grundreinigungsfrequenz ist bei der gelaserten Oberfläche (bei Anforderung ‚R9‘) ebenfalls am geringsten.

Phase II

Phase 2 des Projekts wurde im Dezember 2012 begonnen.

Die Fläche zum Feldversuch 1 Phase II ist dieselbe wie in der Phase I des Projekts und wurde im September 2012 zur Begehung und Reinigung frei gegeben. Die zweite Phase des Feldversuches 1 (AP1) wurde innerhalb des zweiten Quartals begonnen (März 2013). In der Phase II wurden weitere Versuche fortgeführt, um Langzeiterfahrungen zu sammeln. Außerdem wurden die einzelnen Oberflächenvarianten intensiver untersucht.

Untersuchungskriterien:

- Zeitlicher Verlauf (Abnutzung der Fliesenoberfläche)
- Diskriminierung der unterschiedlichen Laserbehandlungen zur Optimierung der Parameter
- Analytik und Beurteilungskriterien der Oberflächen
- Quantifizierung des Reinigungsverhaltens

Die Restschmutzgehalt Prüfungen erfolgten bei allen verlegten Materialien: Padang Dunkel und Feinsteinzeug (jeweils mit vier unterschiedlichen Oberflächenmodifikationen). Die Platten liegen im Durchgangsbereich des Technikums des RRI. Die Fußgänger können nur durch den Versuchsbereich passieren.

Die Fliesen wurden zweimal pro Woche gereinigt. Die Reinigung wurde von RRI Mitarbeitern nach Ecolab Wischanleitung fachgerecht durchgeführt. Um die Verschmutzung zu beschleunigen wurden nach der Reinigung gemischte Stäube über die Fliesen gleichmäßig gestreut. Die gemischten Stäube enthalten 90 % Teststaub (Straßenstaub) und 10% Arizona Staub.



Abbildung 1: Feldversuch im Gebäude 1 des RRI

FSZ K1/01	FSZ K1/02	FSZ K1/03	FSZ K1/04
FSZ K2/01	FSZ K2/02	FSZ K2/03	FSZ K2/04
FSZ K3/01	FSZ K3/02	FSZ K3/03	FSZ K3/04
FSZ K4/01	FSZ K4/02	FSZ K4/03	FSZ K4/04
FSZ K5/01	FSZ K5/02	FSZ K5/03	FSZ K5/04
FSZ K6/01	FSZ K6/02	FSZ K6/03	FSZ K6/04
FSZ K7/01	FSZ K7/02	FSZ K7/03	FSZ K7/04
FSZ pressrau	FSZ pressrau	FSZ pressrau	FSZ pressrau
FSZ pressrau	FSZ pressrau	FSZ pressrau	FSZ pressrau
FSZ pressrau	FSZ pressrau	FSZ pressrau	FSZ pressrau
FSZ pressrau	FSZ pressrau	FSZ pressrau	FSZ pressrau
FSZ gesandelt	FSZ gesandelt	FSZ gesandelt	FSZ gesandelt
FSZ gesandelt	FSZ gesandelt	FSZ gesandelt	FSZ gesandelt
FSZ gesandelt	FSZ gesandelt	FSZ gesandelt	FSZ gesandelt
FSZ gesandelt	FSZ gesandelt	FSZ gesandelt	FSZ gesandelt
FSZ poliert	FSZ poliert	FSZ poliert	FSZ poliert
FSZ poliert	FSZ poliert	FSZ poliert	FSZ poliert
FSZ poliert	FSZ poliert	FSZ poliert	FSZ poliert
FSZ poliert	FSZ poliert	FSZ poliert	FSZ poliert
PD G654 poliert	PD G654 poliert	PD G654 poliert	PD G654 poliert
PD G654 poliert	PD G654 poliert	PD G654 poliert	PD G654 poliert
PD G654 poliert	PD G654 poliert	PD G654 poliert	PD G654 poliert
PD G654 poliert	PD G654 poliert	PD G654 poliert	PD G654 poliert
PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt
PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt
PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt
PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt	PD G654 gesandelt
PD G654 K120	PD G654 K120	PD G654 K120	PD G654 K120
PD G654 K120	PD G654 K120	PD G654 K120	PD G654 K120
PD G654 K120	PD G654 K120	PD G654 K120	PD G654 K120
PD G654 K120	PD G654 K120	PD G654 K120	PD G654 K120
PD G654 K7/01	PD G654 K7/02	PD G654 K7/03	PD G654 K7/04
PD G654 K6/01	PD G654 K6/02	PD G654 K6/03	PD G654 K6/04
PD G654 K5/01	PD G654 K5/02	PD G654 K5/03	PD G654 K5/04
PD G654 K4/01	PD G654 K4/02	PD G654 K4/03	PD G644 K4/04
PD G654 K3/01	PD G654 K3/02	PD G654 K3/03	PD G654 K3/04
PD G654 K2/01	PD G654 K2/02	PD G654 K2/03	PD G654 K2/04
PD G654 K1/01	PD G654 K1/02	PD G654 K1/03	PD G654 K1/04

Tabelle 3: Verlegeplan des 1. Feldversuches: FSZ = Feinsteinzeug von Villeroy-Boch,
PD = Padang dunkel, K120 = geschliffen

Einfluss der Laserparameter auf die Reinigungsfähigkeit

Die zusätzliche Oberflächenbehandlung der polierten Fliesen mittels Lasers hat einen positiven Einfluss auf die Rutschfestigkeit der Fliesen. Eine Optimierung der Laserbehandlung wurde von der Firma Magna durchgeführt. Sieben unterschiedliche Varianten (K1 - K7; Variation der Laserparameter) an laserbehandeltem FSZ und Naturstein Padang Dunkel wurden produziert und verlegt (Tabelle 3). Im Feldversuch wurden deren Anschmutz- und Reinigungsverhalten in der Hinsicht auf ökologische Vorteile untersucht.

Die gemessenen Werte haben eine statistische Grundlage, da jeweils mehrere Fliesen einzelner Art der Laserung den Messungen zu Grunde liegen. Die in dieser Arbeit ermittelten Werte sind Ergebnisse einer Serie von Messungen mit den Arbeitsschritten Anschmutzung, Reinigung, Restschmutzaufnahmeprüfung und auch deren zeitlichen Intervalle.

Ergebnisse der 6 Messungen

Für Padang Dunkel Fliesen wird im folgenden Diagramm anhand der Ergebnisse von sechs Messungen deutlich, dass von den sieben unterschiedlichen Laserbehandlungen, entweder K1 oder K4 die besten Ergebnisse bei der Restschmutzaufnahme zeigten:

- Die unterschiedlichen Niveaus der Farbdifferenzen der unterschiedlichen Messungen sind auf Schwankungen der Schmutzeinbringung und der Reinigung zurückzuführen.
- Wenn man den mathematischen Mittelwert der Messungen betrachtet, ergibt K4 den niedrigsten Wert an Restschmutz. Das heißt, dass der gesamte Restschmutz auf den Fliesenoberflächen von PD K4 deutlich geringer ausfällt als bei PD K1, somit weist **bei PD K4 das beste Reinigungsverhalten** auf.

Bei den **FSZ Fliesen zeigen K2 und K6 die beste Reinigungsfähigkeit**. Die Werte der beiden laserbehandelten Oberflächen liegen meist sehr nah aneinander.

Abbildung 2: Farbdifferenzen Padang Dunkel verschiedener Laserungen bei je 6 Messungen, jeweils nach Anschmutzung und Reinigung.
Je höher die Farbdifferenz, desto mehr Restschmutz war nach der Reinigung noch auf der Platte.

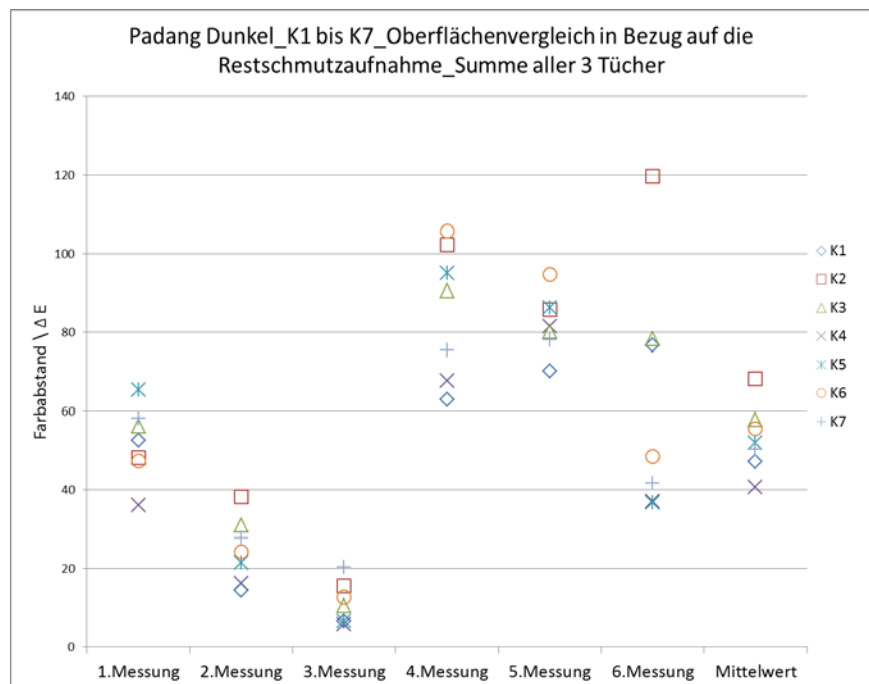
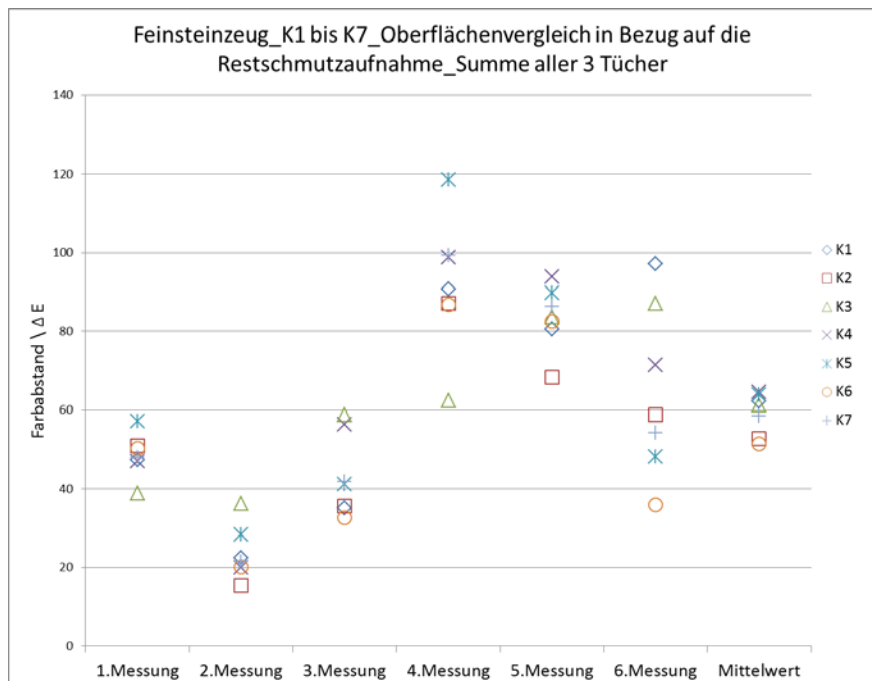


Abbildung 3: Farbdifferenzen FSZ verschiedener Laserungen bei je 6 Messungen



Ergebnisse der erweiterten Restschmutzaufnahme, Prüfung der gelaserten Fliesen

Je nach Abnutzung, Schmutzanteil und Größe der gemessenen Fliesenfläche, könnte man unterschiedliche Ergebnisse derselben laserbehandelte Oberfläche bekommen. Gleiche Eigenschaften der Oberflächen können sich bei unterschiedlichen äußerlichen Einflüssen ganz anders verhalten. Durch den Gebrauch kann die vom Hersteller angegebene Qualität nicht mehr gewährleistet werden und kann zu unterschiedlichen Eigenschaften bei dem gleichen Produkt führen. Um aussagekräftigere Ergebnisse zu bekommen, wurde bei den gelaserten Fliesen eine zusätzliche Prüfung durchgeführt. Hierbei wurde eine größere Messfläche angeschmutzt und gemessen (30cm*30cm). Das Vorgehen war wie folgt: 2g Schmutz / Messfläche; fünf Mal anschmutzen und reinigen vor jede einzelne Messung.

K4 bei Padang Dunkel und **K2** bei FSZ Fliesen weisen wieder sehr gute Reinigungsfähigkeit auf. Bei den Padang Dunkel Fliesen zeigt K7 ebenfalls gute Ergebnisse.

Diese Messungen verdeutlichen auch, dass sich auf der Oberfläche der Padang Dunkel Fliesen weniger Restschmutz befindet als auf der Oberfläche der FSZ Fliesen.

Abbildung 4:
Farbdifferenzen Padang Dunkel
verschiedener Laserungen
von den 4 erweiterten Messungen

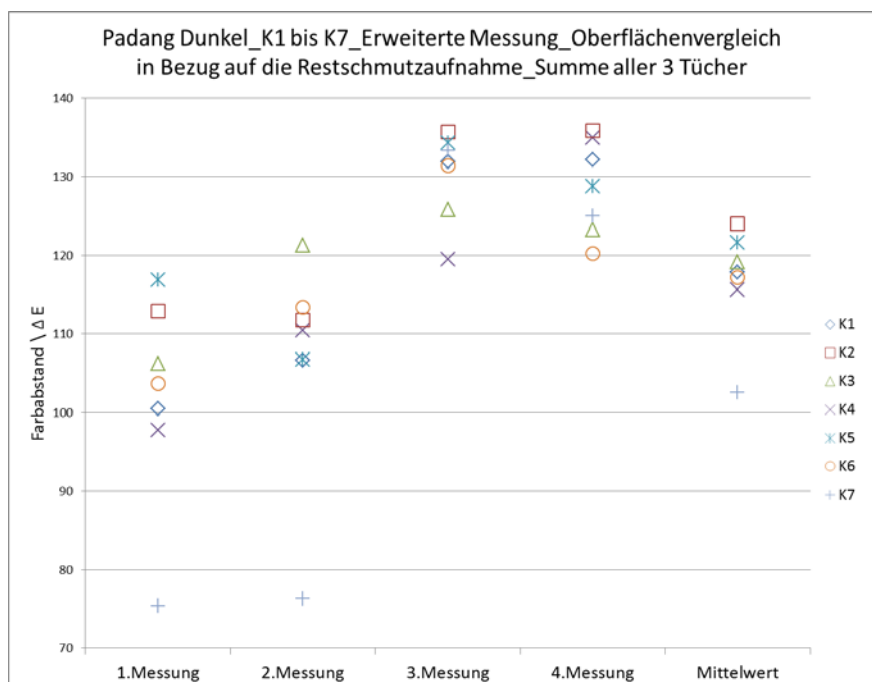
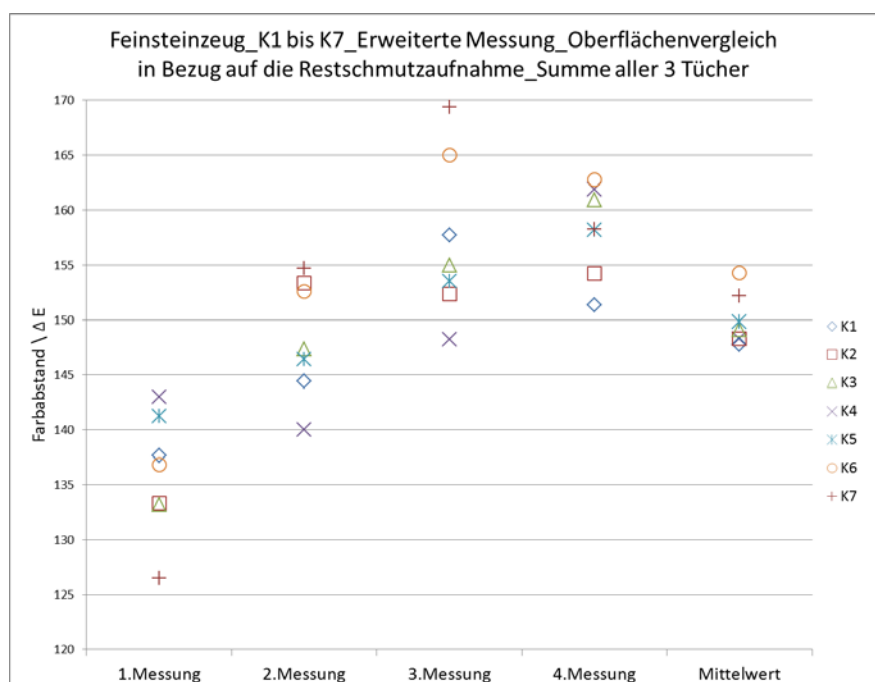


Abbildung 5: Farbdifferenzen
FSZ verschiedener Laserungen
von den 4 erweiterten
Messungen



Diskriminierung der laserbehandelten Fliesenoberflächen

Der Restschmutz auf den Fliesenoberflächen ist meist nur mikroskopisch zu sehen und sehr schwer zu bewerten. Die Poren der Laserungen sind sehr fein.

Auf Basis der oben gezeigten Diagramme stellt man fest, dass leichte Abweichungen bei den Mittelweltergebnissen vorliegen. Deswegen konnte man bisher nicht endgültig entscheiden, welche Laserungsart für welches Produkt ein wirklich optimales Anschmutz- und Reinigungsverhalten aufweist.

Für die Diskriminierung der 7 unterschiedlichen laserbehandelten Oberflächen wurde zusätzlich ein Mittelwert aller zehn Messungen ermittelt:

- Die 6 Messungen des Feldversuches und die 4 erweiterten Messungen der gelaser-ten Fliesen zeigen insgesamt, dass K4 und K7 beim Padang Dunkel und K2 beim FSZ die geringste Menge an Restschmutz aufweisen.

Abbildung 6: Farbdifferenzen Padang Dunkel verschiedener Laserungen von allen 10 Messungen

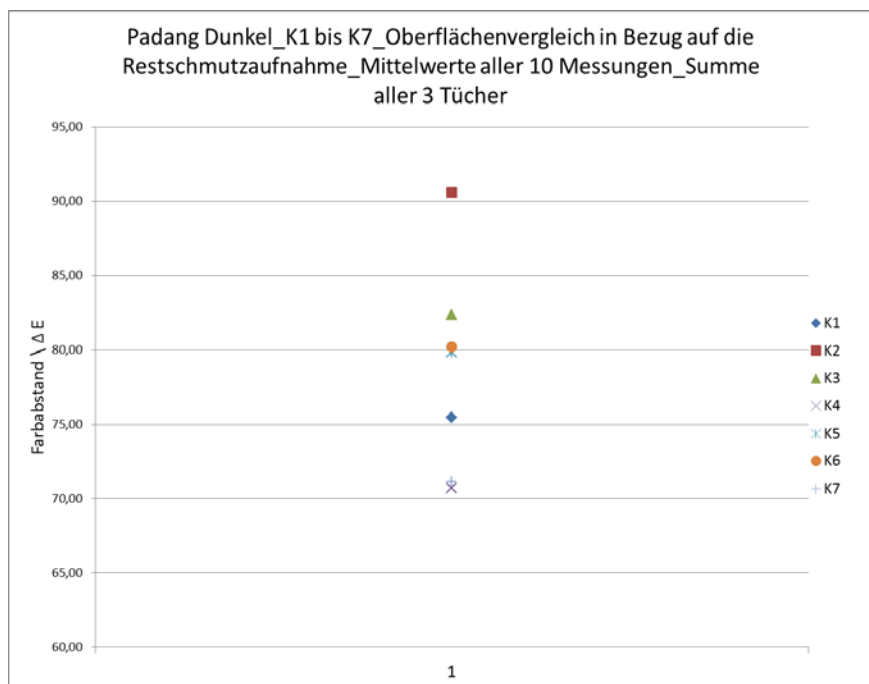
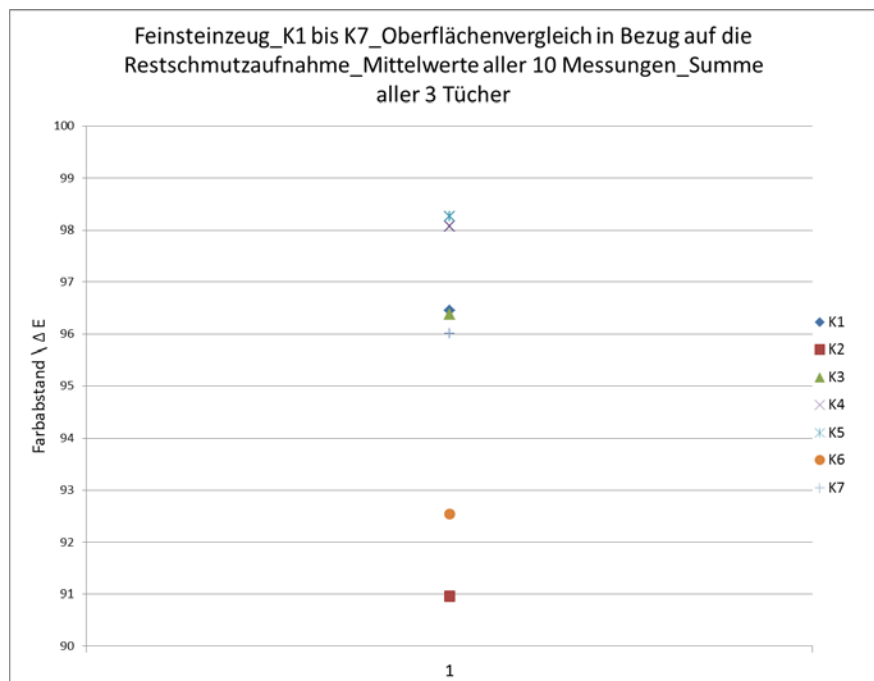


Abbildung 7: Farbdifferenzen FSZ verschiedener Laserungen von allen 10 Messungen



Reinigungsverhalten verschiedener Fliesenoberflächenbehandlungen

Jede Bearbeitung oder Oberflächenbehandlung zur Rutschsicherheit führt automatisch zu einer erhöhte Anschmutzproblematik. Die aggressiven Grundreinigungen können mit der Zeit zum Verlust der Rutschsicherheit führen.

Die polierten Fliesen sind nur für die Nutzung im Innenbereichen und haben keine nachträgliche Oberflächenbehandlung (partielle mikroskopische Aufrauhung). Im Vergleich zu anderen vorliegenden Fliesenarten sind sie sehr glatt und dadurch setzt sich nicht so viel Schmutz an der Oberfläche ab.

Wünschenswert ist eine Verminderung der Anfälligkeit gegenüber anhaftendem Schmutz, bei der die Fliesen die ‚R9‘ Norm gewährleisten. Dies wird hier bei den gelaserten Fliesen bewiesen:

- Deutlich ist, dass optimale oberflächenmodifizierte Fliesen mittels Lasertechnik (K4, K1 bei Padang Dunkel; K2, K6 bei FSZ) bzgl. Anschmutzung und Reinigung nahezu gleichwertig mit den polierten Fliesen sind.

Abbildung 8: Farbdifferenzen Padang Dunkel Oberflächenmodifikationen

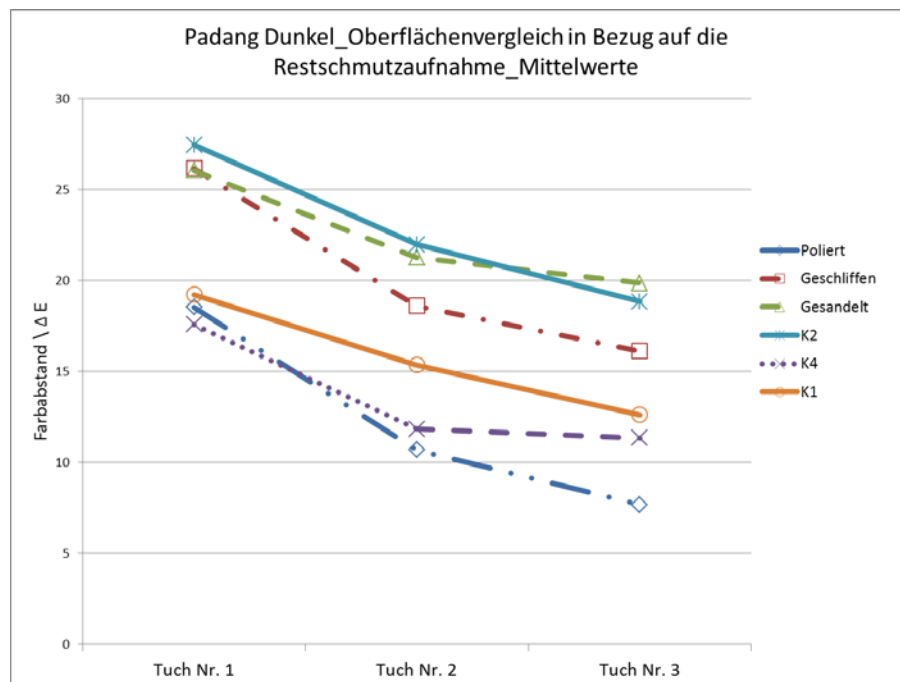
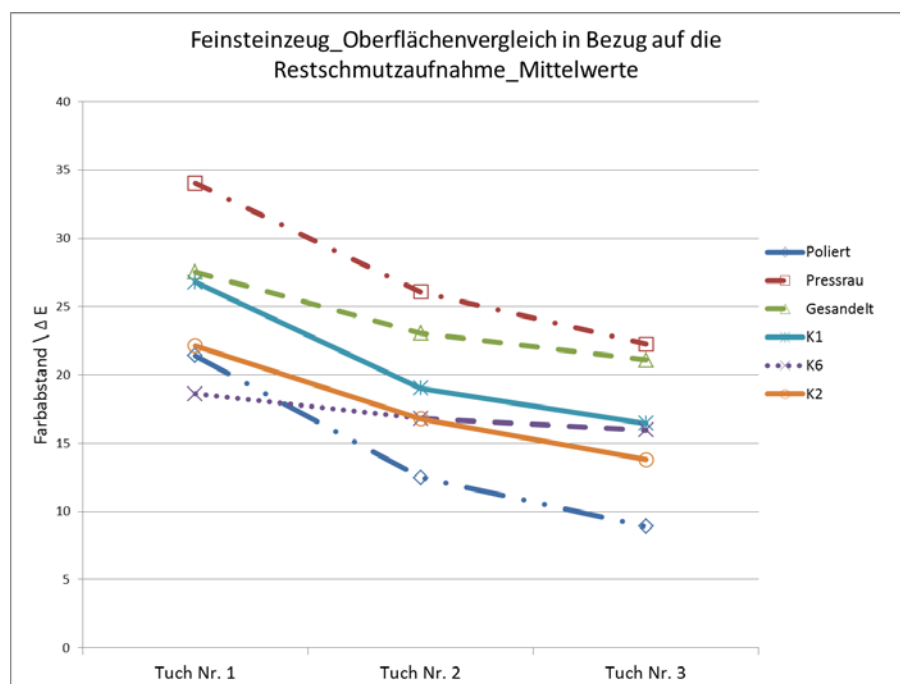


Abbildung 9: Farbdifferenzen FSZ Oberflächenmodifikationen

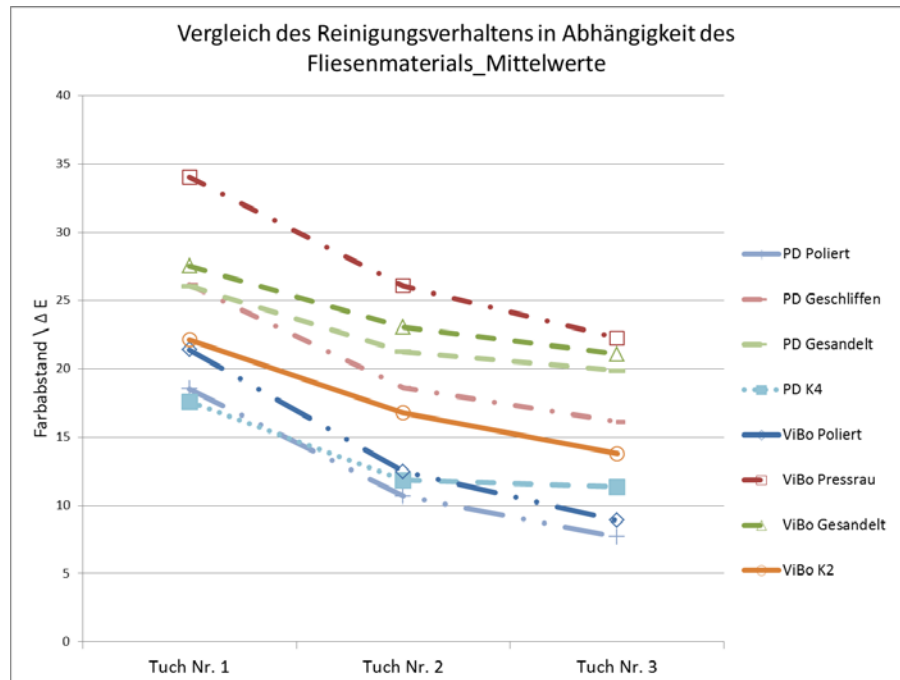


Vergleich des Reinigungsverhaltens in Abhängigkeit des Fliesenmaterials

Die unterschiedlichen Steinsorten (Naturstein, Feinsteinzeug) zeigen verschiedenes Anschmutz- und Reinigungsverhalten:

- Bemerkenswert ist, dass die Padang Dunkel Fliesen (Naturstein) sich im Vergleich zur FSZ Fliesen (Feinsteinzeug) deutlich besser reinigen oder schwieriger verschmutzen lassen - bei polierten, gelaserten sowie gesandelten Oberflächen:

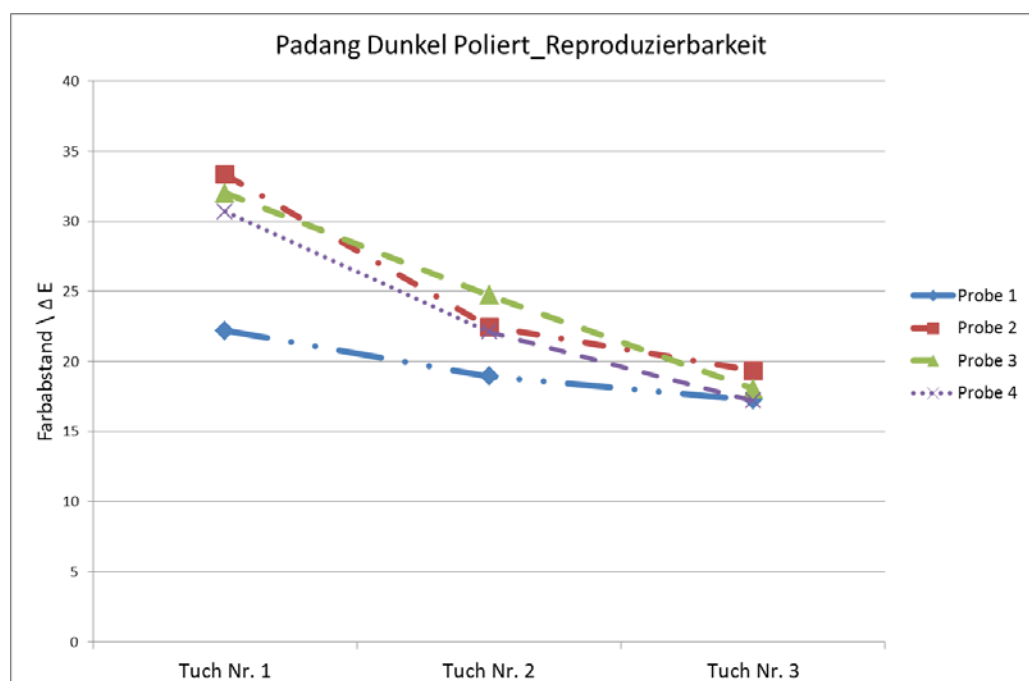
Abbildung 10: Farbdifferenzen PD und VB Oberflächenmodifikationen



Reproduzierbarkeit

Um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu überprüfen, wurden mehreren Proben derselben Fliesensorte sowie derselben Fliesen an denselben Stellen gemessen und anschließend miteinander verglichen. Diese Untersuchung wurde beispielweise bei den polierten Padang Dunkel und FSZ Fliesen durchgeführt. Es ist in der folgenden Abbildung zu erkennen, dass die Kurven ähnlich verlaufen und die Fliesen, trotz der unterschiedlichen Platzierung im Verlegeplan, eine gute Reproduzierbarkeit zeigen.

Abbildung 11: Farbdifferenzen Padang Dunkel verschiedener Proben der polierten Oberfläche



Fazit des Feldversuches

Die regelmäßige zeitliche Abnutzung der Fliesenoberfläche wurde experimentell simuliert. Der Vergleich des Reinigungsverhaltens unterschiedlicher oberflächenbehandelten Fliesen wurde verdeutlicht:

- Die Beurteilungskriterien sind nach Reinigungs- und Anschmutzverhalten in Bezug auf die Oberflächenbehandlung, Laserparameter, Fliesenmaterial gewählt.
- Deutlich ist, dass optimale oberflächenmodifizierte Fliesen mittels Lasertechnik (K-Fliesen) eine gleich gute Reinigungsfähigkeit wie die polierten Fliesen haben können.
- Poliertes FSZ mit optimierter Laserung hat 30% weniger Restschmutz als die beste Alternativmethode (gepresst)
- Polierter Naturstein Padang Dunkel hat mit Laserung ca. 50% weniger Restschmutz als gesandelt oder geschliffen.
- Bemerkenswert ist, dass die Padang Dunkel Fliesen sich um mindestens 5% leichter reinigen lassen als die Fliesen aus Feinsteinzeug.

Diskriminierung der unterschiedlichen Laserbehandlungen zur Optimierung der Parameter wurde erzielt:

- Zwischen den sieben unterschiedlichen Laserbehandlungen ergibt K4 die besten Ergebnisse bei Padang Dunkel. Bei den FSZ Fliesen zeigt K2 das beste Reinigungsverhalten

Die Oberfläche der Fliesen wurde mit Hilfe des KEYENCE VHX-1000 Digitalmikroskops analysiert und somit die Effektivität der Messmethoden überprüft.

Die Reinigung der Fliesen wurde täglich mit dem vorgeschriebenen Reinigungsmittel (Ecolab Magic Maxx) in der vorgeschriebenen Konzentration (0,5%) für alle Fliesen gleichermaßen durchgeführt. Mit bloßem Auge waren keine Unterschiede in der Anschmutzung und im Reinigungsergebnis zwischen den verschiedenen Fliesenarten festzustellen. Auch in der Anschmutzung wurden keine Unterschiede festgestellt. Eine Reduktion der Reinigerkonzentration wurde in diesem Feldversuch nicht durchgeführt, da einige Versuchsparameter für statistische Messreihen konstant bleiben sollten. Stattdessen wurden Unterschiede des verbliebenen Restschmutzes in Abhängigkeit der Oberflächenbehandlung untersucht. Der Restschmutz jeder einzelnen Fliesenoberfläche wurde in qualifizierter Weise quantifiziert und miteinander verglichen. Eine Reduktion der Reinigerkonzentration oder Verlängerung der Reinigungsintervalle wurde nicht vorgenommen, da eine unzweifelhafte Aussage zur Reduktion nur in einer wesentlich längeren Praxiserprobung an verschiedenen Standorten möglich erscheint.

3.2.2 Methodenentwicklung (AP2)

Bewertung des Restschmutzes direkt auf den Fliesen

Beimischung von Fluoreszenzfarbstoffe zur Erhöhung der Restschmutzbarkeit

Um die Restschmutzbestimmung zu verbessern wurde untersucht, ob dieser nach der Reinigung, direkt auf den Fliesen durch eine optische Methode quantitativ bestimmt werden kann. Diesbezüglich wurden mehrere Versuche unternommen, wobei der Prüfstaub mit fluoreszierenden Farbstoffen angefärbt und der Restschmutz optisch bei Tageslicht und mittels UV-Licht analysiert wurde.

Vorhandene Prüfstäube

Arizona Staub: Zusammensetzung und Partikelverteilung an der Vorgabe der SAE J726 Rev. JUN9

Teststaub: Straßenschmutz nach DIN 40050-9. Ausgabe 1993-05, zusätzlich mit Flammruß, Farbteig 27600, höchstlichtecht. Fa. Dr. Kremer, Farbmühle.



Abbildung 12: Arizona Staub & Teststaub

Da der Arizona Staub sehr feinkörnig und der Teststaub gräulich ist, sind diese in geringen Mengen sehr schwer auf den Fliesenoberflächen optisch zu erkennen. Die Stäube sollen mit einem fluoreszierenden Stoff beigemischt bzw. angefärbt werden. Dadurch soll ermöglicht werden, die Menge des leuchtenden Restschmutzes auf Fliesen nach der Reinigung mittels UV Licht (UV Lampe) optisch zu erfassen.

Vorbereitungen

Es wurden jeweils ein grüner und ein orangener Fluoreszenzfarbstoff verwendet:

LEUCHTSTOFFWERK GMBH & CO. (pulverförmig)
VERTRIEBSGESELLSCHAFT
HEIDELBERG
N1 GRÜN

CHT R. BEITLICH GMBH (flüssig)
TÜBINGEN
COLORMATCH FL 181 ORANGE

Die Fliesen (Padang Dunkel) jeweils poliert, poliert und gelasert sowie G603 wurden für den Test mit Wasser vorbereitet (grob gereinigt).

Herstellungsschritte für den Prüfstaub in Mischung mit Fluoreszenzfarbstoff

Prozedur 1:

Für jeden Test wurde insgesamt 50g Staub benötigt. Anschließend wurden ca. 5g grüner Farbstoff hinzugegeben und verrührt bis eine homogene Mischung entsteht.

Prozedur 2:

Für jeden Test wurde insgesamt 50g Staub benötigt. Anschließend wurden ca. 5g orangener Farbstoff hinzugegeben und verrührt bis eine homogene Masse entsteht. Diese Masse wurde 24 Stunden lang in einem Heizofen getrocknet.

Anschmutzprozedur und Reinigung

Die Fliesen wurden mit einer Dispersion aus 2 g Prüfstaub in Mischung mit Fluoreszenzfarbstoff mittels Holzspatel und Wasser angeschmutzt und anschließend bis zur vollständigen Trocknung liegen gelassen. Danach erfolgte die Reinigung mit Wischgerät (Standardwischkraft). Für die Reinigung wurde die Labor-Standardwischmethode benutzt (siehe Abschlussbericht I): der nasse Wischmop wird mit konstantem Druck und konstanter Geschwindigkeit einmal über die beschmutzte Fliese gezogen.

Restschmutzanalyse

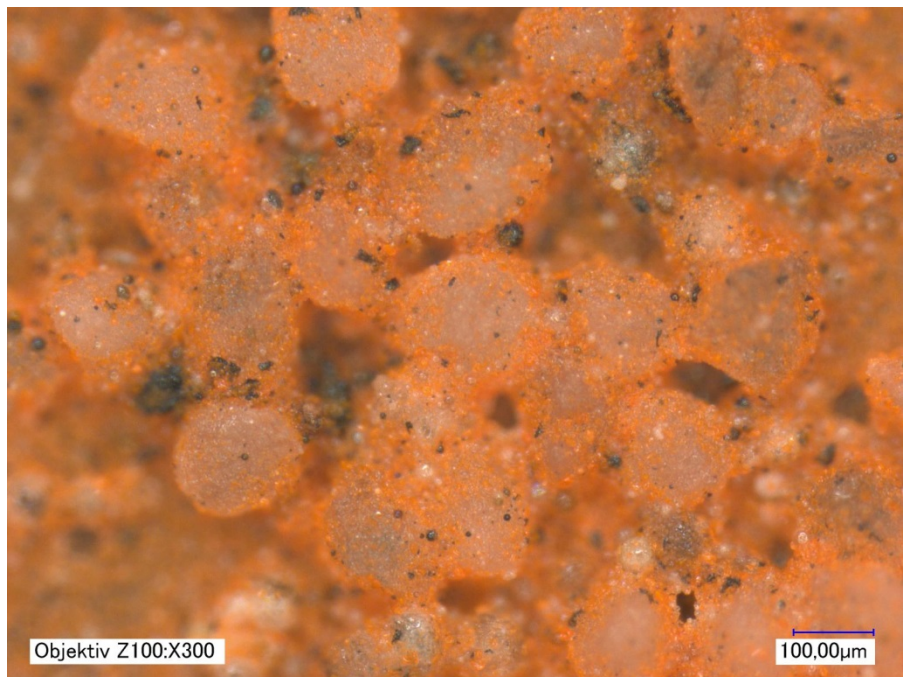
Die gereinigten Fliesen wurden optisch bei Tageslicht sowie in Lichtkammer mit UV Licht analysiert. Eine gründliche Untersuchung der Fliesenoberfläche erfolgte mit dem Digitalmikroskop KEYENCE VHX 1000 mit UV Licht als Zusatzbeleuchtung.

Ergebnisse

Ein Großteil des Schmutzes wurde von dem Wischmop aufgenommen. Auf den Fliesenoberflächen waren keine fluoreszierenden Schmutzreste zu erkennen, weder bei den Versuch mit grünem noch bei dem orangenem Farbstoff. Eine Erhöhung des Schmutzeintrages um 50% bzw. 100% brachte keine besseren Ergebnisse. Nach der Reinigung war kein sichtbarer fluoreszierender Schmutz auf der Oberfläche festzustellen.

Die fluoreszierenden Schmutzpartikel in den Laserlöchern bzw. Rinnen auf der Fliesenoberfläche waren nur mikroskopisch mit mind. 200 x Vergrößerung zu erkennen.

*Abbildung 13: Teststaub in Mischung mit Orange
(weitere Bilder befinden sich im Anhang)*



Die stichprobehaltige Zählung der fluoreszierenden Schmutzpartikel in den Laserlöchern wurde ebenfalls durchgeführt. Die Anzahl der Schmutzpartikel variierte von Testfläche zu Testfläche (1cm x 1cm) bzw. Laserloch zu Laserloch sehr stark. Daher erwies sich diese Methode in der Praxis als nicht praktikabel.

Diese Methode wäre als Stichprobetest unter Laborbedingungen denkbar, um die Aussagekraft über die Reinigungsfähigkeit der Fliesen zu erhöhen. Auf großen Flächen ist die Methode nicht anwendbar.

Restschmutzaufnahme mittels einer mobilen Stempelvorrichtung

Die bestehenden Messmethoden wurden für den mobilen Einsatz weiterentwickelt. Die reproduzierbare Desorption von Schmutzpartikeln im Hinblick auf die farbmetrische Untersuchung der Schmutzaufnahme eines textilen Absorbers wurde innerhalb des zweiten Feldversuches (Kap. 3) mittels einer mobilen Vorrichtung (Absorber, Wischer) durchgeführt. Durch die Mobilität und Flexibilität des Prüfgeräts ist eine präzisere und schnellere Restschmutzaufnahme von den Bodenbelägen vor Ort möglich.

Der Fliesen-Absorber wurde nachträglich bei den Versuchen in der Feldversuch 2 verwendet.

Die einfache Vorrichtung ermöglicht es, die Oberfläche von Fliesen bei einstellbarem und konstantem Druck so zu reinigen, dass anhaftender Schmutz auf den Fliesen weitgehend quantitativ auf einen textilen Absorber übertragen wird.

Beschreibung des Absorbers

Bestehend aus:

- Halterung für Prüfgut
- Mobiles Werkzeug/Vorrichtung für textilen Absorber mit konstantem Auflagedruck zur quantitativen Entfernung von Schmutzpartikeln auf Fliesen
- Prüfanleitung zur reproduzierbaren Schmutzdesorption von Fliesenoberflächen

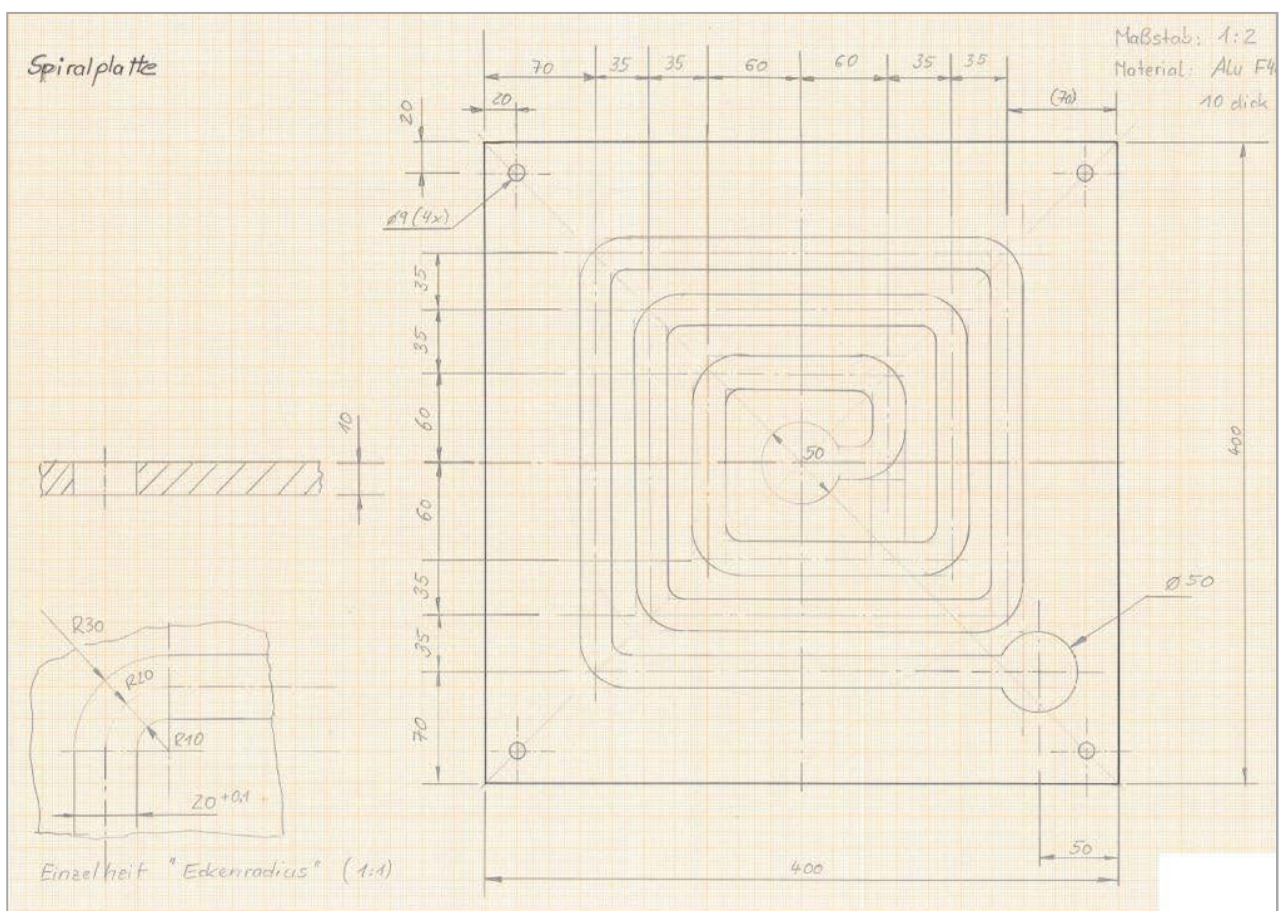


Abbildung 14: Technische Darstellung - Prinzipielle Funktionsweise des mobilen Absorbers

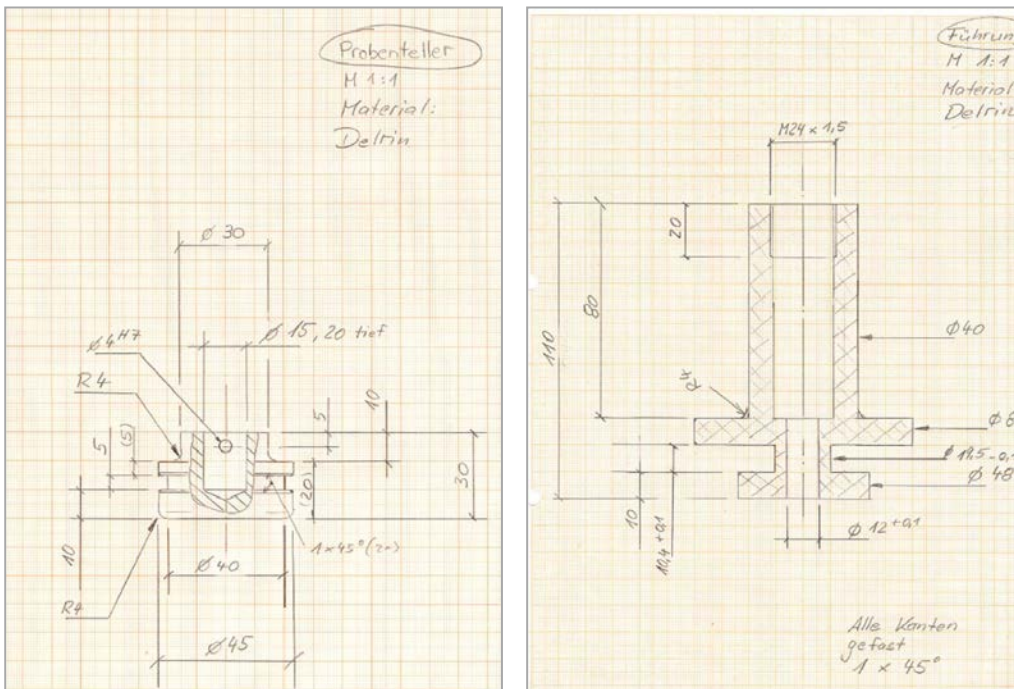


Abbildung 15: Probenteller und Führung des Probentellers



Abbildung 16: Mobiles Absorberwerkzeug

Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Restschmutzbestimmung

Auf den Stempelkopf kommt zuerst ein rundes Pad aus Kunststoff. Anschließend wird das Kunststoff-Pad mit einem Vliesstoff-Pad überklebt. Dies soll einen maximalen Oberflächenkontakt des textilen Absorbers gewährleisten. Die gerundeten Kanten des Kunststoff-Pads sollen die Schmutzaufnahme bzw. die Form des Messflecks optimieren.

Zuletzt wird ein sauberes weißes Absorbentuch über den Stempelkopf gezogen und mit einem Gummi O-Ring befestigt. Zusätzlich wird das Bauwolltuch mit einem O-Ring am Stempelkopf fixiert.

Die Restschmutzaufnahme wird durch Bestimmung des Farbabstandes ausgewertet. Nach der spiralförmigen Abrasterung der Fliesen wird das Absorber-Werkzeug aus der Halterung der Trägerplatte genommen, das Absorbentuch gelöst und farbmetrisch vermessen.

Bei der Farbmessung wird das für die industrielle Qualitätssicherung gebräuchliche LCH – Farbraummodell für die Messungen verwendet. Dabei sind: L = Helligkeit, C= Chroma / Buntheit (Farbsättigung), H= Buntton (-winkel).

Mit Hilfe eines Spektrometers werden dreimal die LCH-Farbwerte gemessen, gemittelt und in die Messtabelle eingetragen. Später wird zusätzlich der Farbabstand zwischen dem sauberen Absorbier Tuch und dem gebrauchten (angeschmutzten) Absorbier Tuch gemessen.



Abbildung 17: Miniscan Spektrometer (Hunterlab)

Nassmessung

Zur Aufnahme des verbliebenen Restschmutzes nach der Trockenmessung wurde eine weitere Methode untersucht: hierbei handelt es sich um eine Nassmessung, wobei der Restschmutz nach der Trockenmessung mit einem nassem Poliertuch aufgenommen wurde. Nasse Medien bringen generell eine sehr gute Leistung beim Reinigen. Es wurde überprüft, ob es gravierende Unterschiede zwischen trockenen und nassen Tüchern bei der Restschmutzaufnahme gibt. Man stellt fest, dass nach der Trockenmessung immer noch Reststaub auf der Oberfläche der Fliesen haften bleibt. Tatsache ist, dass der Kurvenverlauf der Nassmessung dem der Trockenmessung sehr ähnelt. Somit beweist sich die Trockenmessung als eine sichere Methode zur Restschmutzaufnahme.

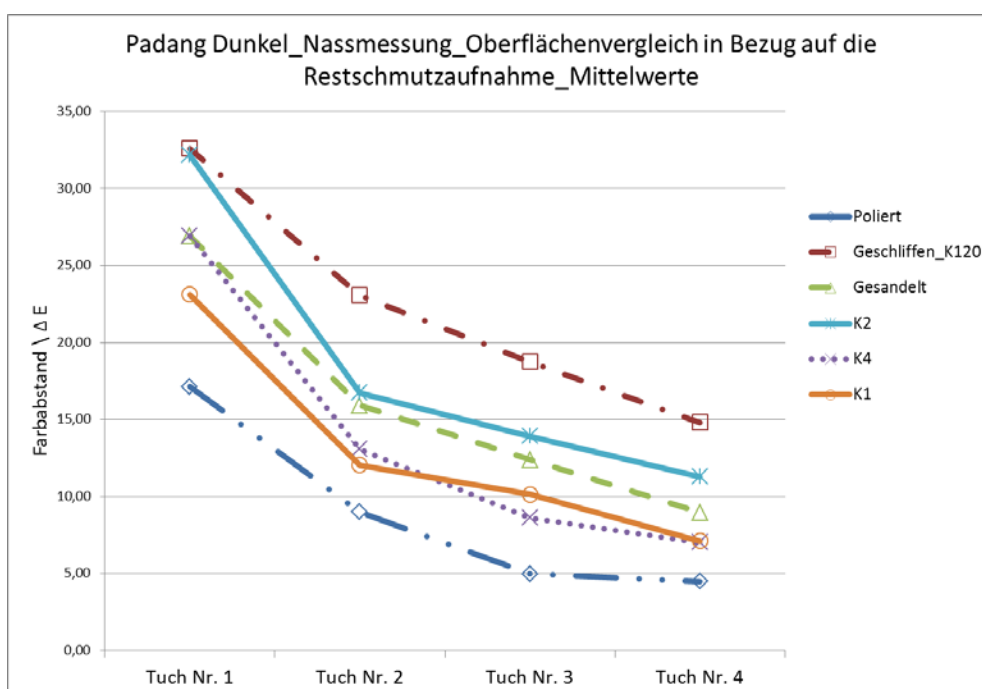


Abbildung 18: Farbdifferenzen Padang Dunkel Oberflächenmodifikationen - Nassmessung

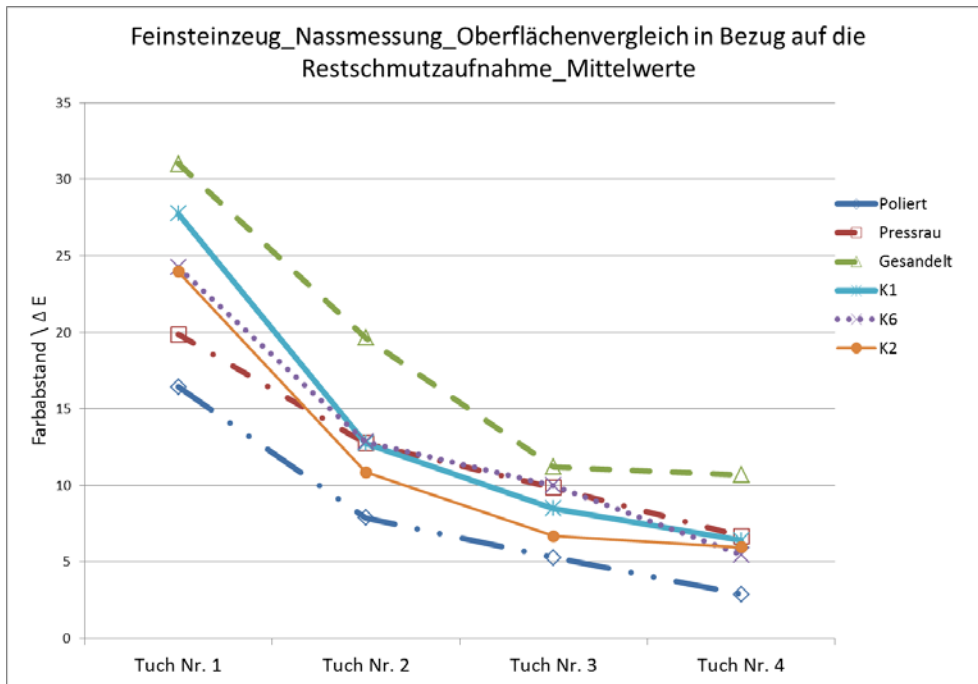


Abbildung 19: Farbdifferenzen FSZ Oberflächenmodifikationen - Nassmessung

Analytik - Digitalmikroskopische Aufnahmen mit KEYENCE VHX-1000

Die digitalmikroskopischen Aufnahmen überprüfen die Effektivität der Testmethode und verdeutlichen die Korrelation zwischen Laserung und Anschmutzung / Reinigung und Wahrnehmung der Verschmutzung.

Wie in den unten dargestellten Bildern zu sehen ist, erwies sich die verwendete Restschmutzaufnahmeprüfung mittels Stempeltest als effizient. Nach der Messung wurde aufgrund der visuellen Beurteilung festgestellt, dass der komplette Restschmutzanteil mit dem Poliertuch von den Fliesenoberflächen aufgenommen wurde.

Darstellung der digitalmikroskopischen Aufnahmen (2D und 3D)

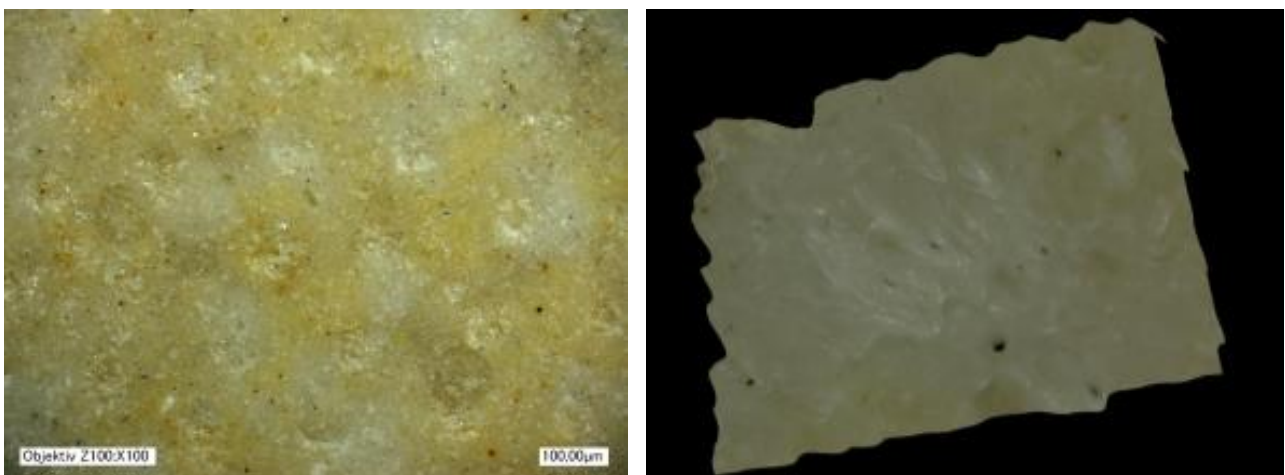


Abbildung 20: Gereinigte Fliesenoberfläche vor dem Anschmutzen (Feinsteinzeug).

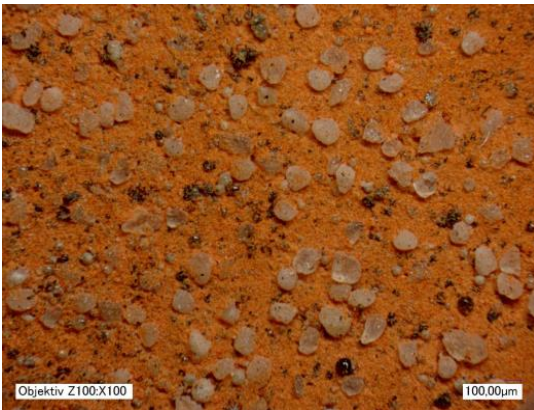


Abbildung 21: Angeschmutzte Fliesenoberfläche (Graustaub)

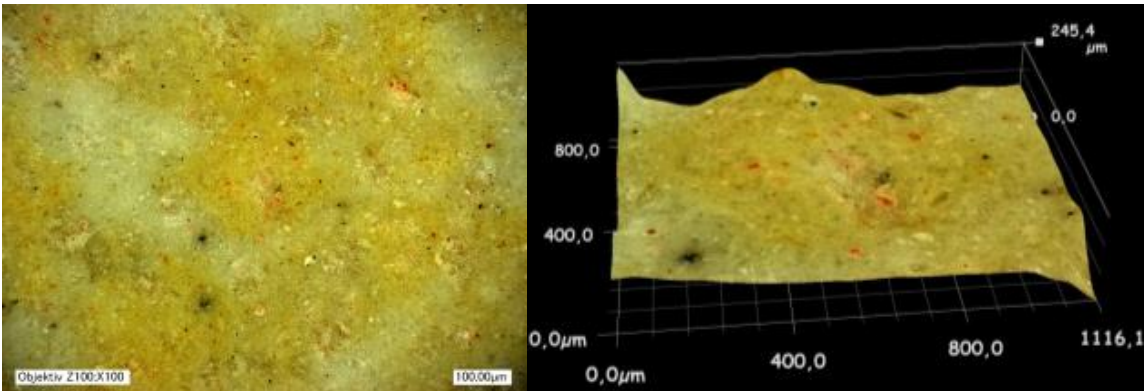


Abbildung 22: Fliesenoberflächen nach dem Anschmutzen und Wischen

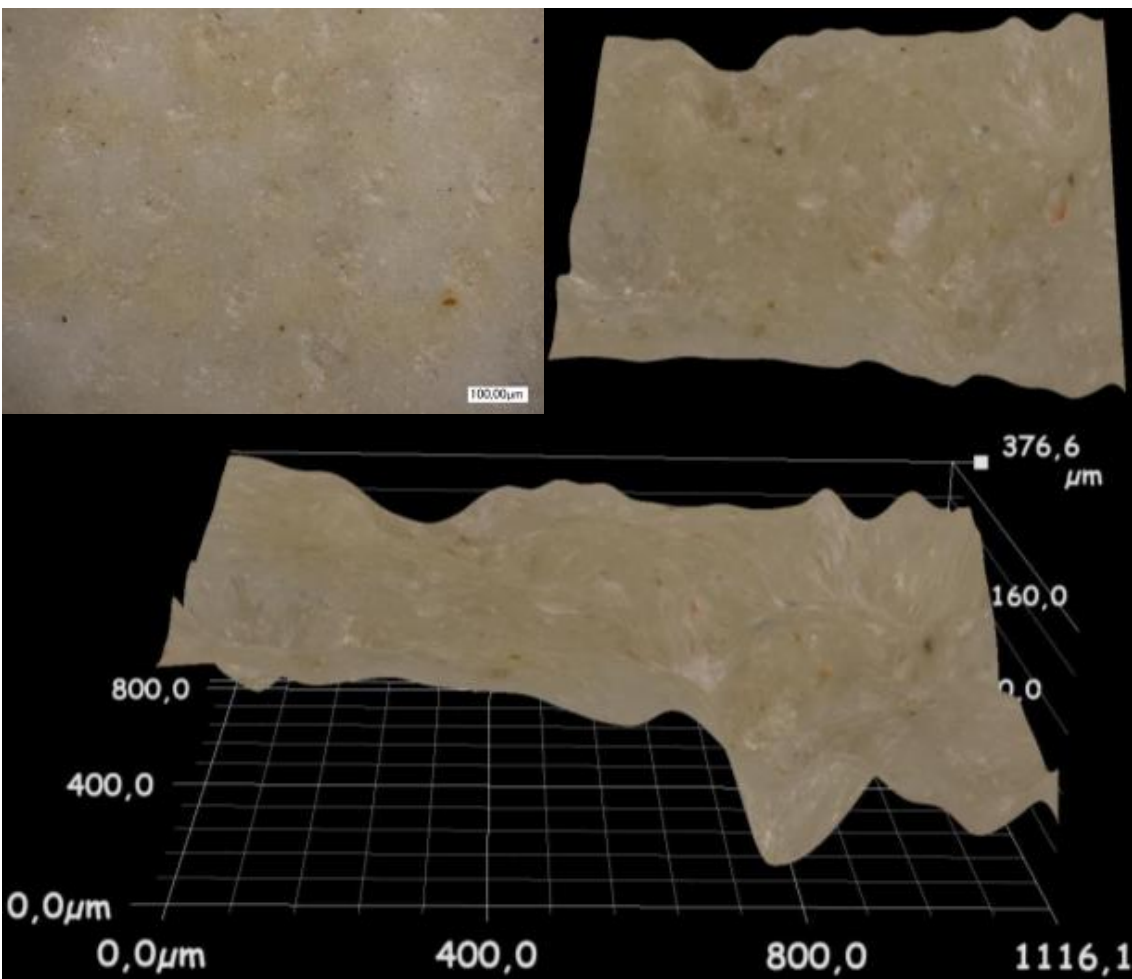


Abbildung 23: Fliesenoberflächen nach dem Anschmutzen, Wischen und Messung mit dem Baumwollpoliertuch

Restschmutzaufnahme mittels Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren

Folgendes Verfahren wurde zur Bestimmung der Restschmutzaufnahme eingesetzt: mit Hilfe eines Kärcher-Dampfreinigers wird der Restschmutz aus den Poren abgewischt und mit einem Kärcher-Wassersauger entsorgt. Es hat sich gezeigt, dass die Verwendung von entsalztem Wasser einen zusätzlichen Arbeitsschritt, der durch die ansonsten notwendige Entkalkung der Geräte entsteht, eingespart werden kann. Durch einen zweistufigen Filtrationsprozess mittels Büchnertrichter wird das Wasser zuerst von grobem und dann von feinerem Schmutz getrennt. Der Restschmutzgehalt wird anschließend quantifiziert. Das Verfahren ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.



Tabelle 4 Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren

3.2.3 Material- und Prozessoptimierung (AP3)

Optimierung der Fliesenbehandlung

Optimierung der Vorbehandlung der 4 Materialien: Padang dunkel, Feinsteinzeug Röwe, Feinsteinzeug Villeroy-Boch, Granit Naturstein G603 China Kristall für die Laserung, Reinigung und Messung wurde durchgeführt. Ergebnis: Eine werkseitige Imprägnierung übt einen erheblichen Einfluss auf das Reinigungsverhalten der Fliesen aus, je nachdem ob es fett- oder wasserlösliche Schmutze sind. Deswegen sollte eine eventuelle Imprägnierung zuerst entfernt werden.

Optimierung der Laserbehandlung für 4 Materialien: Padang dunkel, Feinsteinzeug Röwe, Feinsteinzeug Villeroy-Boch, Granit Naturstein G603 China Kristall (am häufigsten verwendet im Graubereich in Deutschland) wurde durchgeführt. Ergebnis: Um eine reproduzierbare Basis für die Reinigungsversuche zu erhalten, ohne die Rutsicherheit zu beeinflussen, war eine ‚Einheits-Pore‘ zu entwickeln. Es wurden die Einflüsse der technischen Laser- Parameter Strom, Frequenz und Raster auf das optische Bild der Pore ermittelt. Bezüglich der Reinigungsfähigkeit ist bei Naturstein Impala und G603 mit der Laserung kein Vorteil erkennbar, bei Padang Dunkel und Feinsteinzeug ViBo aber schon.

Untersuchung der Schwankungsbreite von Material und Prozess für verschiedene Chargen und Lieferanten sowie Einfluss auf Vorbehandlung, Anschmutzung, Laserung und Reinigung wurde durchgeführt. Ergebnis: Die Messungen der Restschmutzaufnahme wurden für jedes Material und jede Vorbehandlung mehrfach durchgeführt. Es sind minimale Schwankungen zu beobachten, allerdings sind dieses so gering dass sie nachfolgend nicht weiter beachtet werden müssen. Durch die Praxis versuche kammen hinweise dass die anschmutzung und reinigung der fugen einen einfluss auf die schwankungsbreite hat.

Prozessoptimierung der Laserbearbeitung hinsichtlich Prozesssicherheit und Wiederholbarkeit wurde durchgeführt. Ergebnis: Mehrere Proben derselben Fliesensorte wurden gemessen und anschließend miteinander verglichen. Trotz der unterschiedliche Platzierung im Verlegeplan, zeigen sie eine gute Reproduzierbarkeit.

Verschmutzung und Alterung

Die Anschmutzung und die Alterung der Fliesen wurden zur Beschleunigung der Messung der Langzeitstabilität optimiert.

Innerhalb des Feldversuches 1 wurde die Auftragsschmutzmenge von 50g auf 100g pro gesamte Fliesenfläche (38 Fliesen) erhöht. Die zeitlichen Abstände der einzelnen Messungen wurden verkürzt auf 6 Messungen innerhalb von 6 Wochen.

Bei Feldversuch 2 wurde die Auftragsschmutzmenge von 20g auf 32 Fliesen aufgeteilt. Die folgenden Messmethoden wurden in Abhängigkeit von der Zeit wie folgt geplant und durchgeführt:

- Stempelmessmethode mit Baumwolltuch – 4 Messungen innerhalb 4 Wochen
- Stempelmessmethode mit Mikrofasertuch – 4 Messungen innerhalb 4 Wochen
- Methode zur Restschmutzaufnahme mittels Dampfreiniger-Wassersauger -3 Messungen innerhalb 3 Wochen
- Quantifizierung des Restschmutzes mittels Filtertechnologie - 1 Woche
- reduzierter Einsatz von Reinigungsmitteln und Wasser bei den gelaserten Oberflächen – 4 Messungen innerhalb 2 Wochen

Verfahren der Restschmutzaufnahme

Die Methoden zur Restschmutzaufnahmen wurden für eine genaue Differenzierung der Fliesenoberflächen in Abhängigkeit des Reinigungsverhaltens entwickelt.

Um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse der gelaserten Fliesen unter Einfluss der Variation der Laserparameter und der äußeren Umständen (Anschmutzung, Reinigung, Alterung, usw.) zu überprüfen, wurden im Feldversuch 1 vier Messungen mit einer größeren Messfläche von 30 cm * 30 cm durchgeführt. Jede einzelne Messfläche wurde 5-mal vor jeder Messung mit 2g angeschmutzt und anschließend gereinigt.

Eine alternative Methode für die Restschmutzaufnahme wurde innerhalb des Feldversuches 2 untersucht. Hierbei handelt es sich um eine Messung, indem der Restschmutz mit Hilfe eines Dampfreinigers aus den Poren abgewischt und mit einem Wassersauger entsorgt wurde. Durch einen Filtrationsprozess wird das Wasser geklärt und der Restschmutzgehalt wird quantifiziert. Dies ermöglicht die Ermittlung einer Ökobilanz.

Meilensteine

MS1: Der Prozess für den Feldversuch 2 wurde innerhalb der Feldversuch 1 optimiert und definiert. Gemäß den Ergebnissen von der FS 1 wurde die optimalste gelaserte Oberfläche nach einer Laserparameterauswahl für weitere Untersuchungen in Vergleich zu den polierten und geschliffenen Oberflächen ausgewählt. Die PD Natursteinfliese werden in der FS 2 mit neuen FSZ Produkte verglichen. Die Stempelmeßmethode hat sich bewährt und wird deswegen im Feldversuch FS 2 weiter durchgeführt.

MS2: Beschleunigter Test und Fluoreszenztest wurde entwickelt. Die Bewertung des Restschmutzes direkt auf den Fliesen erfolgt durch Beimischung von Fluoreszenzfarbstoffen zur Erhöhung der Restschmutzsichtbarkeit. Um die Restschmutzbestimmung zu verbessern wurde untersucht, ob dieser nach der Reinigung, direkt auf den Fliesen durch eine optische Methode quantitativ bestimmt werden kann. Diesbezüglich wurden mehrere Versuche unternommen, wobei der Prüfstaub mit fluoreszierenden Farbstoffen gemischt und der Restschmutz optisch analysiert wurde. Die Bewertung gelang mit dem Mikroskop.

MS3: Innerhalb des Feldversuches 2 wurde der Prozess für den Feldversuch 3 optimiert und definiert. Zur Erkennung der Schwankungsbreite der Messergebnisse wurden bei den selektierten Materialien unterschiedliche Messmethoden durchgeführt. Die Messmethode zur Wahrnehmung der Restschmutzes mittels mobiler Stempelverfahren sowie die Messmethode zur Quantifizierung des Restschmutzes mittels Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren haben sich bewährt und werden im Feldversuch FS 3 bei selektierten Materialien eingesetzt und weiterhin optimiert.

MS4: Das Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren als alternative Methode zur Restschmutzermittlung und Quantifizierung wurde innerhalb des FS 2 abgeschlossen.

MS5: Ein mobiler Stempeltest wurde entwickelt. Die manuelle Messmethoden der Restschmutzaufnahme auf den Fliesenoberflächen wurden vor Ort mit Hilfe einer mobilen Vorrichtung (Fliesen-Absorber) sowie mit einem Dampfreiniger und Wassersauger durchgeführt.

MS6: Die ausgearbeiteten Feldversuche wurden ausgewertet. Hiermit wurden die MS6 Aufgaben erfüllt

MS7: Ein Verfahren zur Qualitätssicherung bei Magna Naturstein wurde entwickelt, s.o..

3.2.4 Feldversuch 2 (AP 4)

Teile des Feldversuches 2 wurden bereits im Feldversuch 1 integriert, so dass für FS 2 eine optimierte Parameterauswahl erfolgen konnte. Der Feldversuch wurde innerhalb des zweiten Quartals begonnen, eine neue Fläche wurde verlegt (März 2014, Abbildung 24.). Die Einzelparameter wurden abgearbeitet und FS 2 konzentriert sich auf die Analyse größerer Flächen zur Darstellung der praktischen Reproduzierbarkeit.



Abbildung 24: Feldversuch 2 im Spinnereitechnikum der Hochschule Reutlingen

Der Prozess (Material-, Parameter- und Untersuchungsmethodik) für Feldversuch 2 (MS1) ist optimiert und definiert. Die Variablen „Laserbehandlung“ und „Standardoberflächenbehandlung“ werden gemäß den Ergebnissen aus Feldversuch 1 begrenzt auf die signifikanten Zielgrößen.

Variablen:

- Material (Naturstein, Feinsteinzeug)
- Oberflächenbehandlung (Laser-parameteroptimiert, Gesandelt, Geschliffen K120 und Poliert)
- Messtechnik (Mikroskopie, Stempelverfahren, Alternativen)

Die Prüfungen des Restschmutzgehaltes erfolgten bei allen verlegten Materialien: PD K120 geschliffen, PD Poliert, PD K4, FSZ Magna Laser und FSZ Gesandelt (von Fa. Haid) von einem großen FSZ Hersteller. Die Platten liegen im Durchgangsbereich des Spinnereitechnikums der Hochschule Reutlingen. Die Fußgänger können nur durch den Versuchsbereich passieren.

Die Fliesen wurden einmal bis dreimal pro Woche gereinigt, je nach Messmethode. Aufgrund der Zeitverzögerung der Feldversuche mussten alle anderen Prozesse beschleunigt werden. Um sicherzustellen, dass eine bessere Prozesskontrolle geführt werden konnte, wurde die Reinigung von RRI Mitarbeitern nach Ecolab Wischanleitung fachgerecht durchgeführt.

Um die Verschmutzung zu beschleunigen wurden nach der Reinigung gemischte Stäube über die Fliesen gleichmäßig gestreut. Die gemischten Stäube enthalten 90 % Teststaub (Straßenstaub) und 10% Arizona Staub.

Auf Basis der Ergebnisse der ersten Feldversuche wurden drei verschiedene Padang Dunkel Produkte für diese Versuche ausgewählt: Geschliffen K120, PD Poliert und PD K4 (K4 hatte in Feldversuch 1 die besten Ergebnisse von allen Laservarianten). Dazu sind zwei neue Produkte zum Testen gebracht worden: FSZ gesandelt (sog. „FSZ Haid Gesandelt Gesandelt“) und FSZ poliert&gelasert (sog. „FSZ Magna Laser“).

Vorgehensweise:

- Materialien der verschiedenen Herstellern wurden hinsichtlich deren Reinigungsfähigkeit verglichen (MAGNA, HAID)
- Eine weitere Laservariante, FSZ Magna Laser, wurde im Vergleich zur besten Laservariante PD K4 getestet
- Die bestehenden Stempelmessmethoden wurden weiterhin durchgeführt
 - Hierbei erfolgten die Messungen mit Hilfe des Fliesen-Absorbers
 - Neben den konventionellen Tests mit Baumwolltuch wurden noch Tests mit Mikrofaserstuch durchgeführt und anschließend verglichen
 - Die Reinigungsfähigkeit der Fliesen wurde mittels Farbmessung bestimmt
- Die alternative Methode zur Restschmutzermittlung wurde appliziert (MS4) – Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren
 - Bei diesen Verfahren wurde eine Quantifizierung des Restschmutzes ermöglicht
- Die ausgewählten Fliesenarten wurden auf jeweils zwei Holzplatten mit je 2,5 m Länge und 1,25 m Breite verlegt
 - 32 Fliesen / Holzplatte
 - PD Fliesenfläche = 0,093 m² für jede PD-Variante
 - Feinsteinzeug von Magna und von Haid Fliesenfläche je = 0,09 m²
 - Die Hälfte der verlegten Fläche wurde mittels Stempelverfahren und die andere Hälfte mittels Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren getestet

- Die Fliesen wurden vor der Restschmutzaufnahme zur Beschleunigung der Alterung angeschmutzt, passiert und anschließend gereinigt
- In einer Zeitspanne von einer Woche wurde die Reinigungsfähigkeit der Fliesen bewertet

[illegible]

Tabelle 5: Verlegeplan des 2. Feldversuches. Jedes Feld der Tabelle entspricht einer Bodenplatte. Alle Bodenplatten auf derselben Holzplatte (Untergrund) haben in der Tabelle die gleiche Farbe

FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt	FSZ Haid Gesandelt
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser
FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser	FSZ Magna Laser

Tabelle 6: Zusätzliche Felder beim 2. Feldversuch

Ergebnisse

Die bereits bestehenden und praxisnahen Methoden und Verfahren zur Restschmutzaufnahme sowie ein neues alternatives Verfahren (Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren) wurden in der Hinsicht auf Ökologie entwickelt. Um die unterschiedlichen Auswirkungen der Messmethoden feststellen zu können, wurden zusätzlich eine weitere Laservariante (FSZ Magna Laser) und Materialien der verschiedenen Hersteller (Magna, Haid) getestet. Hierbei konnten die neuen, statistisch signifikanten Ergebnisse von FSZ Magna Laser und FSZ Haid Gesandelt Gesandelt mit den bereits bekannten Padang Dunkel Fliesenoberflächen verglichen werden.

Im folgenden Diagramm wird verdeutlicht, dass die polierte Fliesenoberfläche und die beiden gelaserten Fliesenoberflächenvarianten (K4, Magna Laser) die beste Reinigungsfähigkeit bei dem Stempeltest mit einem Baumwolltuch besitzen. Betrachtet man jede einzelne Messung, so zeigt PD K4 immer eine deutlich bessere Reinigungsfähigkeit als PD Poliert. Die Ergebnisse der Restschmutzaufnahme von FSZ Magna Laser und PD Poliert liegen eng nebeneinander. Im Gegensatz zu den polierten und gelaserten Oberflächen schneiden die gesandelten und geschliffenen (PD K120) Oberflächen um 20 bis 50% schlechter ab.

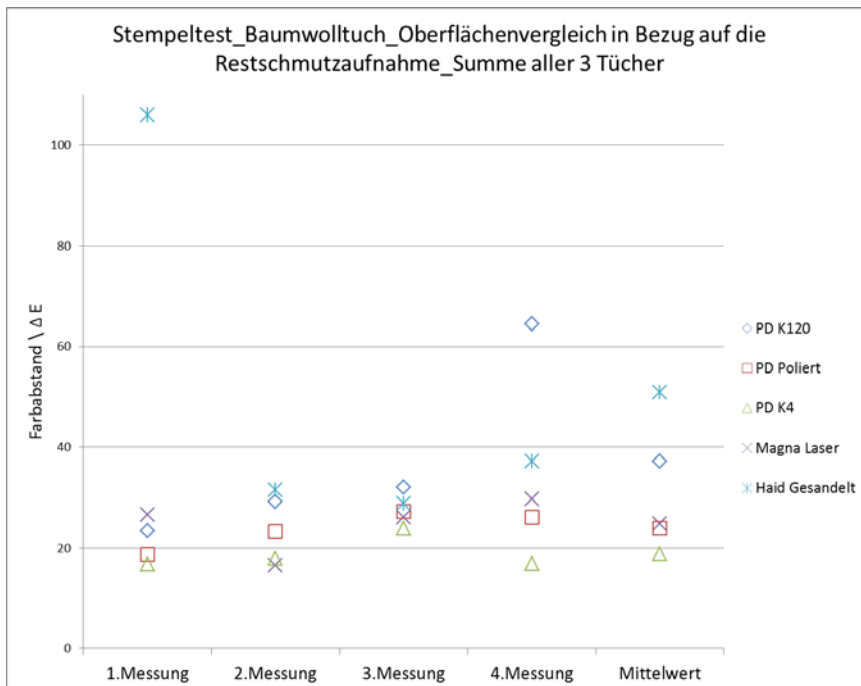


Abbildung 25: Farbdifferenzen Oberflächenmodifikationen – Stempeltest mit Baumwolltuch

In dem nachstehenden Diagramm werden die Ergebnisse der Restschmutzaufnahmeprüfung mit Mikrofaserätüchern veranschaulicht. Deutlich ist, dass PD K4 und PD Poliert stets die beste Reinigungsfähigkeit aufweisen, wobei K4 den maximalen Wert zeigt.

Vergleicht man alle Ergebnisse der Restschmutzaufnahme mittels Stempelverfahren, stellt man fest, dass eine deutlich größere Streuung der Ergebnisse bei den Messungen mit Mikrofaserätüchern vorliegt, als bei den Messungen mit Baumwolltöchern.

Beachtlich ist auch, dass die Farbabstände bei den Mikrofaserätüchern wesentlich größer ausfallen als bei den Messungen mit Baumwolltöchern. Angesichts der großen Streuung werden die Mittelwerte stark beeinflusst und auf Grund dieser Tatsache zeigt Magna Laser hier eine mangelnde Reinigungsfähigkeit im Vergleich zu gesandelten Oberflächen.

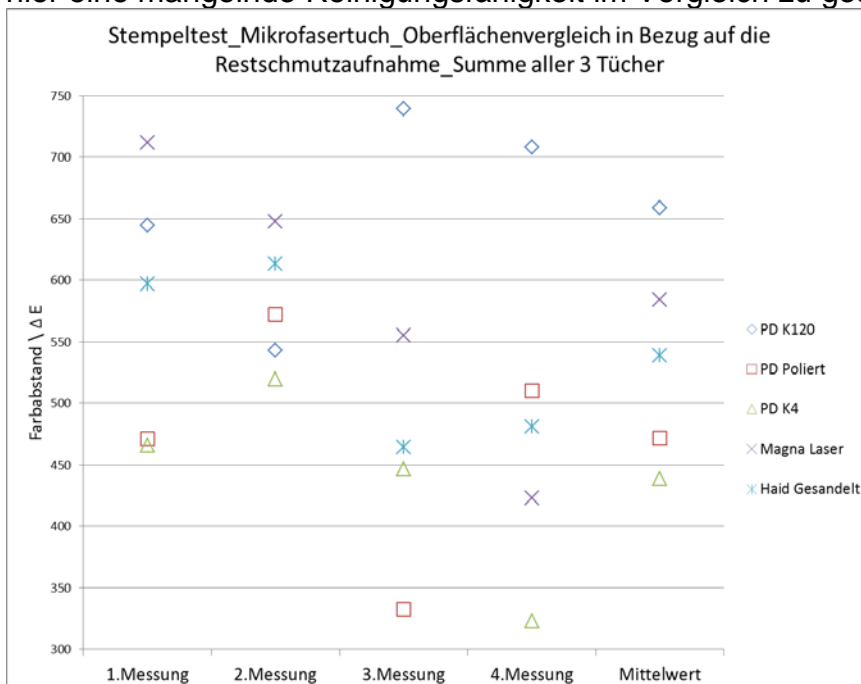


Abbildung 26: Farbdifferenzen Oberflächenmodifikationen – Stempeltest mit Mikrofaserätuch

Die Ergebnisse der Restschmutzaufnahme mittels Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren offenbaren, dass die Fliesenoberfläche von Magna Laser den minimalsten Restschmutzanteil enthält. Im Vergleich zu den gesandelten und geschliffenen Oberflächen weisen die polierten und gelaserten Oberflächen wieder ein sehr gutes Reinigungsverhalten auf (siehe folgende Tabelle).

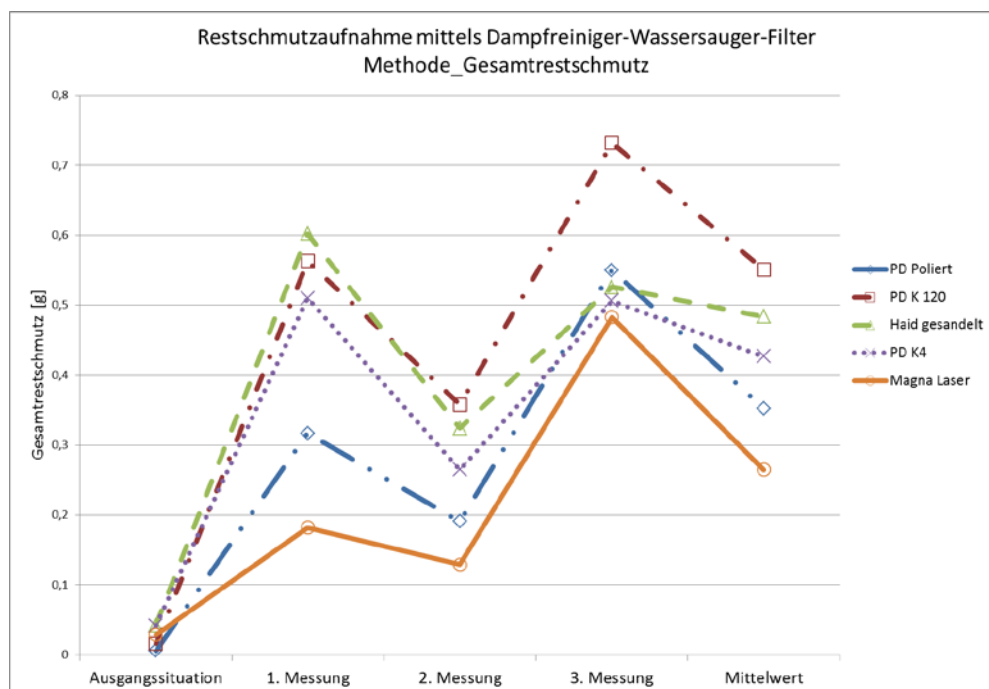


Abbildung 27: Gesamtrestschmutz Oberflächenmodifikationen – Dampfreiniger-Sauger-Filter Verfahren

Die Werte der gesamten Restschmutzanteile von allen Messungen wurden in der folgenden Tabelle dargestellt. Weil PD K120 (geschliffen) und FSZ Haid Gesandelt den höchsten Mittelwerten innerhalb der selben Materialart entsprechen, werden diese Werte als Basis (100%) für die prozentuelle Berechnung des Restschmutzanteils bei allen anderen Oberflächen verwendet. Je niedriger der Prozentsatz wird, desto besser sind das Anschmutzverhalten und die Reinigungsfähigkeit der Oberfläche. Daraus resultiert, dass ein geringerer Reinigungsaufwand benötigt wird.

Vergleicht man PD K4, PD Poliert und PD K120 geschliffen miteinander, so stellt man fest, dass K4 eine mit 15%-Punkte erhöhte Restschmutzanteil als die polierte Oberfläche aber einen mit 22% geringeren Restschmutzanteil als die geschliffene Oberfläche aufweist.

	Messung	Produkt		
		PD K120 geschliffen	PD Poliert	PD K4 Laser
Gesamtrestschmutz [g]	Blindversuch	0,016	0,006	0,042
	1. Messung	0,563	0,317	0,510
	2. Messung	0,358	0,191	0,265
	3. Messung	0,732	0,550	0,506
	Mittelwert	0,551	0,353	0,427
Restschmutz[%]	Mittelwert	100,0	64,06	77,49

Tabelle 7: Gesamtrestschmutz PD Oberflächenmodifikationen – Dampfreiniger-Sauger-Filter Verfahren

Stellt man FSZ Magna Laser und FSZ Haid Gesandelt gegenüber, enthält erstere einen 45% geringeren Restschmutzanteil als die gesandelte Oberfläche.

	Messung	Produkt	
		FSZ Magna Laser	FSZ Haid Gesandelt
Gesamt- restschmutz [g]	Blindversuch	0,029	0,043
	1. Messung	0,182	0,602
	2. Messung	0,129	0,324
	3. Messung	0,483	0,526
	Mittelwert	0,265	0,484
Restschmutz[%]	Mittelwert	54,75	100,0

Tabelle 8: Gesamtrestschnutz FSZ Oberflächenmodifikationen – Dampfreiniger-Sauger-Filter Verfahren

Im nächsten Schritt wurde bei den gelaserten Fliesenoberflächen die Menge des Reinigungsmittels um die Hälfte reduziert, bei den nichtgelaserten wurde sie nicht verändert. Anschließend wurde erneut bei allen Fliesenoberflächen ein Stempeltest mit Baumwolltuch durchgeführt. Die Ergebnisse sind im nachfolgenden Diagramm dargestellt. Auch hier zeigen PD K4 und FSZ Magna Laser eine bessere Reinigungsfähigkeit als PD K120 und FSZ Haid Gesandelt Gesandelt, wobei PD K4 mindestens 30% weniger Restschmutz aufweist als die geschliffenen bzw. gesandelten Oberflächen. Wie in Abbildung 28 zu erkennen ist, liegen die Ergebnisse der PD Poliert und PD K4 sehr eng nebeneinander.

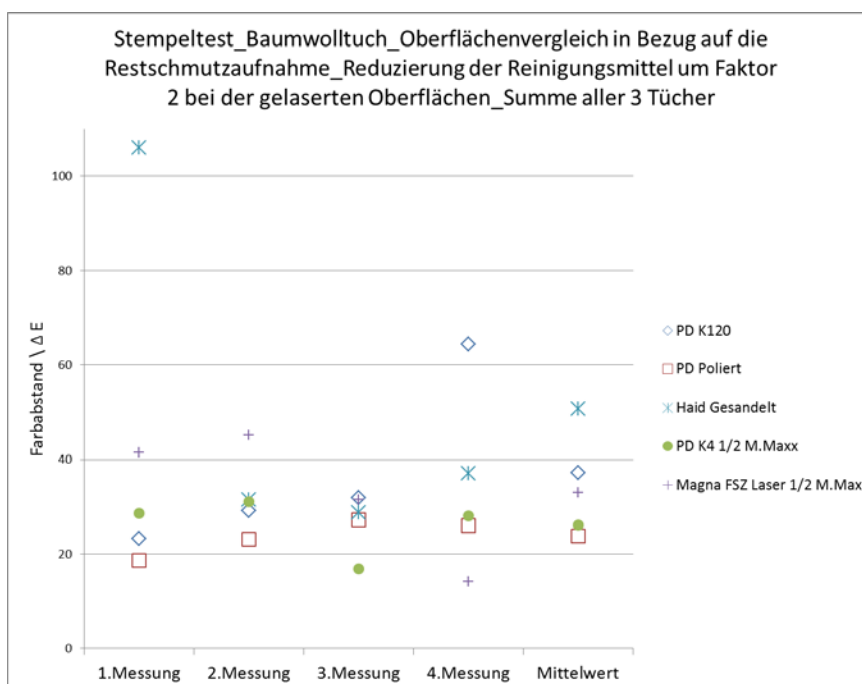


Abbildung 28: Farbdifferenzen Oberflächenmodifikationen – Stempeltest mit Baumwolltuch – Reduzierung der Reinigungsmittel um Faktor 2

Fazit des Feldversuches 2

Das Reinigungsverhalten von PD Fliesen wurde mit dem Reinigungsverhalten von den zwei neuen Oberflächen (FSZ Magna Laser, FSZ Haid Gesandelt) verglichen und verdeutlicht:

- Zusätzlich zu den bereits bekannten Beurteilungskriterien (Behandlungsart, Laserparameter, Fliesenmaterial) spielen hier die zwei unterschiedlichen Messmethoden

(Stempelmessmethode, Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren) eine große Rolle, da die Ergebnisse auch von der Messmethode abhängig sind.

- Deutlich ist, dass die optimalsten laserbehandelten Natursteinoberflächen PD K4 ein mindestens 12rel.% besseres Reinigungsverhalten als die optimalsten gesandeten Oberflächen (FSZ Haid Gesandelt Gesandelt) sowie ein um 23rel.% besseres Reinigungsvermögen als die geschliffenen Oberflächen aufweist
- Bemerkenswert ist, dass die gelaserten Magna FSZ Fliesen ein bis zu 40% besseres Reinigungsverhalten als die gesandeten PD-Oberflächen und ein 50% besseres als die geschliffenen PD-Oberflächen zeigen
- Zwischen den beiden unterschiedlichen Laserbehandlungen (PD K4, FSZ Magna Laser) erzielt K4 die besten Ergebnisse bei der Stempelmessmethode. Bei dem Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren zeigt Magna Laser das beste Reinigungsverhalten.
- Unabhängig von der Methode zur Restschmutzbestimmung sind die Ergebnisse für das gleiche Grundmaterial bei allen Verfahren qualitativ gleichwertig.
- Hier noch eine Aussage zur möglichen Reduktion des Reinigungsaufwands

Alle Auswertungen zeigen, dass die Oberflächenbehandlung mittels Laserung bei der optimalsten Laserparametereinstellung, sowie unabhängig von der benutzten Messmethode beziehungsweise vom verwendeten Material stets das erfolgreichste Ergebnis erzielt.

3.2.5 Optimierung Stempeltest (AP5)

Schmutzabsorption von verschiedenen textilen Reinigungsmedien für Steinoberflächen

Die Stempelprüfung ist eine Methode die von Reutlingen Research Institute (RRI) entwickelt wurde. Aufgrund des Ansatzes der Stoffe und deren unbekannter Schmutzaufnahmefähigkeit, wurden diese aus einer breiten Palette ausgewählt. Es wurden Gewebe mit unterschiedlichen Bindungsarten, Gestricke und Vliesstoffe aus verschiedenen Materialien ausgesucht. Als Beispielsprodukt lag ein Baumwollgewebe mit Leinwandbindung vor (Stoff 3).

Die Stoffe wurden für die Prüfung der Schmutzaufnahmefähigkeit an den Fliesen vorbereitet. Zunächst erfolgten mehrere Tests auf den FSZ gelaserten und gesandeten Fliesen, um festzustellen, welche Stoffarten bzw. Mischungen optimal für den Stempelkopf einsetzbar sind. Ebenso wurde überprüft, ob diese gute Ergebnisse bei der Restschmutzaufnahmeprüfung liefern. Die Ergebnisse dieser Stoffe wurden analysiert.

Stoff Nr.	Art der Stoff	Materialanteil
Stoff 1	Fahmentuch uni 1	100% CO (Cotton)
Stoff 2	Baumwollkörper 14	100% CO
Stoff 3	Baumwollgewebe 1	100% CO
Stoff 4	Fahmentuch uni 2	100% CO
Stoff 5	Baumwoll-Jersey Medium 16	92% CO / 8% EL
Stoff 6	Popeline 13	65% PES / 35% CO
Stoff 7	Alclear Mikrofaser-Kompakt	Unbekannt
Stoff 8	Mikrofaser Autopoliertuch	100% PES

Tabelle 9: Auswahl der Stoffe

Die besten Ergebnisse sind bei den Stoff 7 (Mikrofaservliesstoff) zu finden. Die Ergebnisse der Trockenmessung und der Nassmessung werden hier in diesem Diagramm dargestellt. Eine einzige Stoffart (Stoff 7 - Mikrofaservliesstoff) zeigt einen viel höheren Differenzwert der Restschmutzaufnahme als alle anderen Stoffarten, weshalb dieser Wert auf der sekundären Achse im Diagramm liegt.

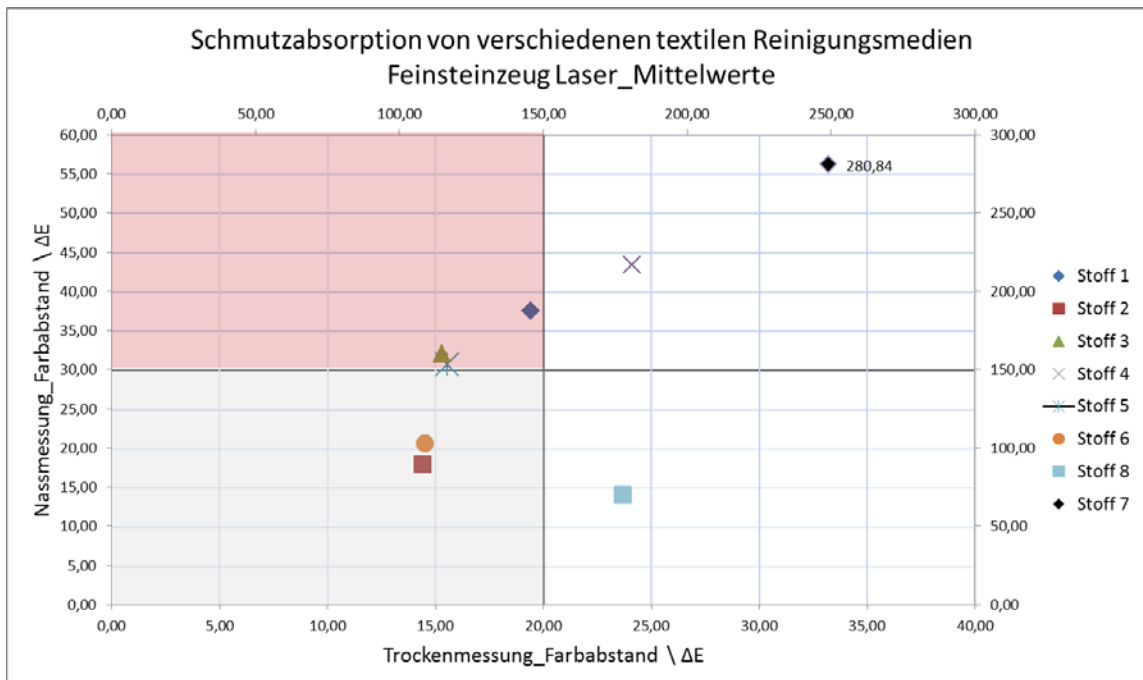


Abbildung 29: Farbdifferenzen unterschiedlicher textiler Reinigungsmedien – FSZ Laser

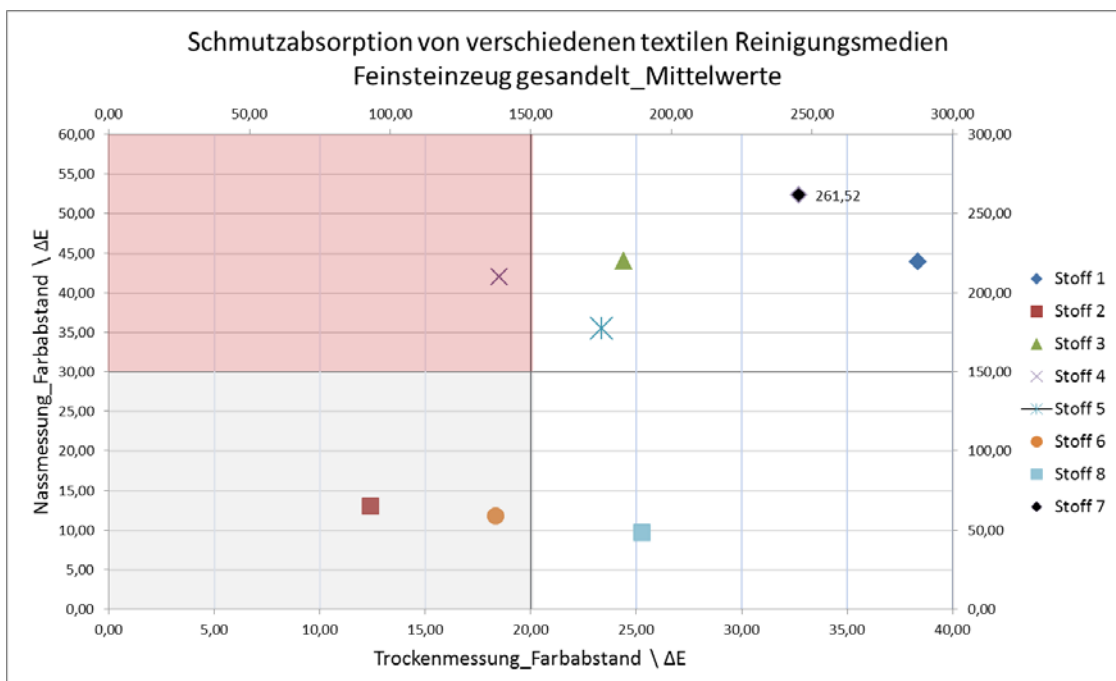


Abbildung 30: Farbdifferenzen unterschiedlicher textiler Reinigungsmedien – FSZ Gesandelt

3.2.6 Stempelentwicklung 2 (AP6)

Padang Dunkel – Farbtafel zur Beurteilung des Restschmutzes auf der Oberfläche der Fliesen – Optische Analyse des Poliertuchs

Zur Bewertung des Restschmutzes auf den Fliesen vor Ort wurde eine bequeme Methode entwickelt. Auf Basis der Ergebnisse von dem Feldversuch 1 wurde innerhalb der Feldversuch 2 eine Farbtafel ermittelt.

In Feldversuch 1 Phase II wurden Padang Dunkel und FSZ Fliesen getestet. Die PD Fliesen zeigten die beste Reinigungsfähigkeit, demzufolge wurden diese Fliesen als Referenzmuster für den Farbtafel ausgesucht (Poliert, Geschliffen K120, Gesandelt, Laser). Nur drei von den sieben unterschiedlich gelaserten Oberflächen wurden ausgewählt (zwei optimale Ergebnisse – K4 und K1 - und ein mangelhaftes Ergebnis - K2).

Für die optische Analyse des Poliertuchs nach der Aufnahme des Restschmutzes von der Fliesenoberfläche, wurden die LCh – Werte in RGB – Werte umgerechnet, um druckbare Farben zu gewinnen.

Arbeitsschritte

- Auswahl der Fliesen – Alle Padang Dunkel Sorten
- Datenauswahl – Ergebnisse von der 6 Messungen (Mittelwerte der Farbdifferenzen der Poliertücher)
- Auswahl LCh – Werte die gezielte Farbdifferenzen erzeugen (vergleichbarsten Werte)
- Umrechnung LCh – Werte in RGB – Werte und Darstellung des Farbton in Tabelle

	Poliert	Geschliffen	Gesandelt	K2	K4	K1
Tuch 1						
Tuch 2						
Tuch 3						

Tabelle 10: Farbtafel zur optischen Analyse des Poliertuchs - Beurteilung des Anschmutzungsgrades

Betrachtet man die LCh – Werte der ausgewählten Fliesenarten, zeigen alle durchschnittliche Farbdifferenzen der Poliertücher unterschiedlichen Reinigungsverhalten.

Bei einer optischen Farbtafel Analyse sind nur noch die auffälligsten Unterschiede wahrzunehmen (gesättigt – ungesättigt sowie der Kontrast zwischen dem 1. und dem 2. Tuch). Vergleicht man die polierten mit den gelaserten sowie die geschliffenen mit der gesandelten Fliesenoberflächen, können keine gravierende Unterschiede des Reinigungsverhaltens

erkannt werden. Vergleicht man jedoch die polierten und gelaserten mit den geschliffenen und gesandelten Fliesenoberflächen, sind die Unterschiede leicht erkennbar. Infolgedessen verdeutlichen die polierten und die gelaserten Fliesenoberflächen die beste Reinigungsfähigkeit.

Für eine endgültige Farbtafel wurden nur noch die vier aussagekräftigsten Nuancen gewählt:

	Poliert, Laser (K1, K4, K2)	Geschliffen, Gesandelt
Tuch 1		
Tuch 2		
Tuch 3		
	Saubere Oberfläche	Schmutzige Oberfläche

Tabelle 11: Farbtafel zur optischen Analyse des Poliertuchs - Beurteilung des Anschmutzungsgrades

3.2.7 Feldversuch 3 (AP7)

Aufgrund der Vorversuche und der Feldversuche 1 und 2 konnte der positive Effekt der Laserung auf das Reinigungsverhalten bereits bei unterschiedlichen Steinarten nachgewiesen werden.

Die Untersuchungsparameter wurden im Hinblick auf die praktische Anwendung deutlich erweitert. Innerhalb des Feldversuchs 2 wurde die neue Messmethode durch den mobilen Absorber umfassend getestet und verbessert. Darüber hinaus konnte die Quantifizierung des Restschmutzes durch Variation der Schmutzdesorptionsmethoden verbessert werden. Somit sind keine neuen Erkenntnisse aus dem Feldversuch 3 zu erwarten. Aus diesem Grund konnte darauf verzichtet werden.

Die Versuchsparameter des Feldversuchs 3 wurden bereits in die Feldversuche 1 und 2 integriert.

3.2.8 Entwicklung Qualitätssicherung, Übertragbarkeit auf weitere Materialien (AP8)

Zur Sicherstellung des angestrebten Qualitätsmerkmals „geringster Reinigungsaufwand“ in der Produktion wurde von Magna eine Methode entwickelt. Dies beinhaltete:

Eine reproduzierbare und sichere Vorbehandlungsmethode

Der Glanzgrad ist ein Indikator für die Reinigungsfähigkeit der polierten Oberflächen. Je höher der gesteinspezifisch erreichbare Glanzgrad ist, desto besser ist das Endergebnis. Die Prüfung erfolgt stichprobenartig / Charge mit handelsüblichem Messgerät

Erarbeiten relevanter Qualitätsmerkmale für die Vorbehandlung, Laserbearbeitung und Nachbehandlung nach dem Lasern

Der Glanzgrad sollte für jedes Gestein optimiert werden. Die Laserbearbeitung muss grundsätzlich die geforderte Rutschsicherheit (i. d. R. „R9“) erfüllen. Dies wird mit einem Gleitreibmeßgerät und der „schiefen Ebene“ nach DIN 51130 geprüft. Die Optimierung der

Reinigungseigenschaften erfolgt mit dem entwickelten Meßgerät und noch zu entwickelnden „Schnellanschmutzungstest“. Die Nachbehandlung besteht aus einer ordentlichen Staubentfernung (mechanisch) um eine Verstärkung von Mikrokratzern während des Transports zu minimieren, da diese sich auf den Glanzgrad und die Schmutzanhaftung negativ auswirken können. Dabei ist reine rein mechanische Reinigung durchführbar, die keine Chemikalien oder Wasser benötigt.

Erarbeitung von Spezifikationen für Rohmaterial, Eingangskontrolle, Laserbehandlung, Verlegung und Reinigung

Hierbei ist besonders der Glanzgrad der nicht bei der Magna polierten Materialien festzuhalten, da die Lasertechnik auch als reine Dienstleistung angeboten wird. Bei Feinsteinzeug spielt bei polierten Oberflächen die brand- und pressbedingten Porenräume eine Rolle, auf die unsererseits keinerlei Einfluss besteht.

Methode zur Qualitätssicherung, Festlegung einer Prüftechnologie

Das Besondere an dem entwickelten Messverfahren ist die Meßbarkeit auf bereits verlegten Böden. Somit ist es erstmals möglich das Reinigungsergebnis zu messen, statt augenscheinlich und subjektiv eine Reinigungsleistung zu bewerten. Das ist umwelttechnisch ein Riesenschritt. Statt „viel hilft viel“ ist es eher „weniger ist mehr“.

Definition von Anschmutzklassen

Durch die erstmalige Möglichkeit der Messung einer realen Schmutzanhaftung wäre es ein weiteres Projekt zur Definition von Anschmutzklassen für Oberflächen. Dies wäre in Zusammenarbeit mit Keramikherstellern und verschiedenen Natursteinverarbeitern möglich. Eine entsprechende Aufnahme zu den CE – Kennzeichnungen wäre wünschenswert, allein um den Verbraucher auf die unterschiedliche Reinigungsfähigkeiten zu beraten. Deutschland hat mit der Deutschen Steinzeug AG einen adäquaten Hersteller. Der daraus resultierende Wettbewerbsvorteil für deutsche Produkte wäre nicht unerheblich.

Entwicklung statistisch signifikanter Messmethoden

Je mehr Messgeräte im Betrieb sind, wäre eine Zusammenarbeit mit der Gebäudereinigung notwendig, um vernünftige statistische Daten über den Nutzungszeitraum zu bekommen. Diese Daten können dann sowohl von den Belagsherstellern als auch von den Herstellern von Reinigungsprodukten genutzt werden. Die Dosierungen der Chemikalien können dann nach der Anschmutzklasse und der Wasserhärte optimiert werden. Das ist ein weiterer Einsparungseffekt für die Minimierung der Umweltbelastung.

Prüfung der Voraussetzungen (Eignung) für Umweltzertifizierung, dazu Prüfung der Umwelteffekte durch externe Stelle (Unterauftrag)

Gespräche mit der LCEE, dem Ersteller der Ökobilanz, lassen vermuten, dass eine LEED – relevante Punktevergabe möglich ist. Auch andere Zertifikationen sind bereits im Gespräch. Das ist ein wichtiger Verkaufsvorteil für den ausländischen Markt.

Entwicklung eines Schulungskonzeptes für den Gebäudereiniger auf Basis des anerkannten Stands der Technik, analog FRT - Leitfaden für mineralische Bodenbeläge.

(www.frt.de, siehe Anlage)

Seit mehreren Jahren führt die Magna Schulungen für Gebäudereiniger durch. Die Ergebnisse des AP2 haben dazu geführt, dass die zu vermittelnden Inhalte durch die entwickelten Meßmethoden und deren Vorführung wesentlich mehr in Richtung ökologischer Planung gehen.

Vorarbeiten zur Erstellung der nach BstV (Baustellenverordnung) notwendigen Wartungsanleitung für Sicherheitsbaudetails. Dieser Punkt ist relativ einfach zu realisieren. Durch die Zusammenarbeit mit den führenden Chemieherstellern ist eine starke Verbreitung und Anerkennung durch den Betreiber problemlos durchzuführen. Es besteht die Absicht, im Jahre 2015 diese Anleitungen zu erstellen, um Überdosierungen zu vermeiden

In die Arbeiten von Magna Naturstein flossen die Ergebnisse des RRI von AP2 mit ein.

3.3 Ökologische Bewertung

- Durch die Benutzung der optimal gelaserten Fliesenoberflächen wurde im Feldversuch eine Reduktion um mindestens 20% des Unterhaltsreinigungsaufwands erreicht. Es hat sich gezeigt, dass die gesandeten und die geschliffenen Oberflächen bereits nach 40 Anschmutz- und Reinigungszyklen optisch nicht mehr sauber ausgesehen haben, die gelaserten jedoch erst nach 50 Zyklen.
- Die gelaserten Oberflächen zeigen außerdem sogar bei einer um 50% reduzierten Reinigermenge sehr gute Reinigungsergebnisse. Bei einer reduzierten Reinigermenge zeigen sich bereits nach vier Messungen Andeutungen von Verschmierung. Dies muss jedoch in der Praxis genauer untersucht werden.
- Die gelaserten Oberflächen haben immer bessere Ergebnisse als die gesandeten oder geschliffenen Oberflächen gezeigt.
- Die Ergebnisse lassen erwarten, dass Zwischenreinigungen entfallen können und dass der Zyklus für Grundreinigungen um 50% verlängert werden kann.
- Der ökologische Vorteil bei Verbrauch von Wasser, Reiniger und Energie ist wie im Antrag dargestellt sehr hoch, auch unter Berücksichtigung der neuen Ökobilanz mit Lifecycle-Analyse. Der erhöhte Aufwand für die Laserung fällt demgegenüber nicht ins Gewicht.
- Eine gesicherte quantitative Bewertung kann erst nach ausgedehnten Praxisversuchen vorgenommen werden.

Mit den aufgrund der Projektergebnisse als vernünftig befundenen Angaben zu den Einsparungen an Reinigung in Tabelle 1 wurde von LCEE – Life Cycle Engineering Experts GmbH eine Ökobilanz erstellt, die auch den Energieverbrauch bei der Herstellung der polierten und gelaserten Platten und Lebenszykluseffekte berücksichtigt.

Über die Unterhaltsreinigung, Zwischenreinigung und Grundreinigung hinweg, kann durch das Lasern der Bodenplatten gegenüber geschliffenen Platten eine Einsparung von 24% pro Zyklus erreicht werden. Diese Aussage gilt für alle zuvor bestimmten Untersuchungsparameter: Energieverbrauch, Wasser, Treibhauspotenzial, Abiotischer Ressourcenverbrauch, Versauerungspotenzial, Ozonabbau-potenzial, Eutrophierungspotenzial und Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial. In nachfolgender Tabelle sind drei essentielle Aspekte herausgegriffen, die deutlich machen, welches Potential in den gelaserten NST und FSZ-Bodenplatten steckt. Details sind dem Anhang zu entnehmen.

	Gesamt NST- und FSZ Bodenplatte geschliffen	Gesamt NST- und FSZ- Bodenplatte gelasert	Einsparungen pro Zyklus
Primärenergie in [MJ] (nicht regenerierbar und regenerierbar)	55634	42108	24%
Treibhauspotenzial [kg.CO2-Äqv.]	3344	2535	24%
Wasserverbrauch [m ³]	6445	4891	24%

Tabelle 12: Umweltwirkungen über alle Reinigungsprozesse der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ- Bodenplatten nach 15 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend

3.4 Wirtschaftliche Bewertung

Auf Basis der Daten aus den Versuchen des RRI wurde eine Kostenanalyse erstellt, die folgende externe Basisdaten benutzt:

1.) Mustergebäude

Für die Kostenanalyse wurde ein Beispielobjekt erstellt. Es ist ein Ladenlokal mit einer zu reinigenden Fläche von 1.000 m². Die Reinigung erfolgt manuell mittels vorgetränkten Mikrofaserbezügen, was den anerkannten Stand der Gebäudereinigungstechnik erfüllt.

2) Reinigungskosten

Die Ermittlung von durchschnittlichen Reinigungskosten für ein derartiges Gebäude wurde durch Angebotsabfrage bei verschiedenen Gebäudereinigungsunternehmen ermittelt.

Hierbei liegen folgende Daten zugrunde:

Unterhaltsreinigung:

Der Preis für ein einmaliges Wischen / m² beträgt: 0,04 €/ m²

Zwischenreinigung:

Diese erfolgt im zweistufigen Wischen / m²: 0,09 €/ m²

Grundreinigung:

Die Durchführung erfolgt mit einer Einscheibenmaschine und zweifachem Nachwässern / Absaugen 0,90 €/ m²

Die Kosten für die Reinigungsmittel sind in den Preisen enthalten.

3) Wasserbereitstellung und Abwasser:

Für die Wasserpreise wurden Daten des statistischen Landesamtes Baden Württemberg genutzt. Quelle: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Pressemit/2012334.asp>

Wasserkosten:

Kosten Frischwasser: 1,97 €/ m³

Kosten Abwasser: 1,77 €/ m³

Wasserverbrauch (die Mengen sind analog der Versuchsanordnung):

Unterhaltsreinigung 200ml Wasserbereitstellung / m²

Zwischenreinigung: 800ml / m²

Grundreinigung : 2400 ml / m²

4) Inflationsrate

Die Inflationsrate wurde mit einem Wert von 2,5 % angenommen.

Beschaffungszusatzkosten:

Hierbei wurden für das Sandeln und Polieren 10 Euro / m² angesetzt und 12 Euro für das Polieren und die LaserGrip - Bearbeitung angesetzt.

5) Gesamtkosten:

Daraus ergibt sich folgende Kostensituation nach 10 Jahren Nutzungsdauer:

Mustergebäude FSZ pressrau: 162.074,39 Euro

Mustergebäude FSZ gesandelt: 144.985,15 Euro

Mustergebäude FSZ LaserGrip: 113.013,79 Euro

Daraus ergibt sich, dass eine Amortisation, unabhängig von den Umweltvorteilen, bereits nach zwei Jahren erreicht werden kann. Die LaserGrip - Technologie ist nicht nur Umwelt und Ressourcen schonend, sondern auch sehr wirtschaftlich in gewerblichen Bereichen.

4 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

- Die Zwischenergebnisse wurden am 30.06.2013 präsentiert.
- Die Feldversuche in der Betriebshalle und im Spinnereitechnikum der Hochschule Reutlingen dienten der Öffentlichkeitsarbeit, da hier ein reger Publikumsverkehr herrscht. Informationstafeln und Poster informierten über das Vorhaben.
- Das Projekt wurde an den Tagen der Offenen Tür an der Hochschule Reutlingen (23.11.2013 und 2014) präsentiert.
- Im Forschungsmagazin der Hochschule Reutlingen, Ausgabe 2014 – S. 32, wurde das Projekt vorgestellt.
- Das Projekt wurde auf der 46th International Detergency Conference (9.-11.04.2013, Düsseldorf) präsentiert: ‚Practice Orientated Correlation between Cleaning Behavior and Antislip Surface Modification by Laser Technology‘.
- Das Projektvorhaben wurde innerhalb einer Präsentation bei der Fa. Werner & Mertz, Mainz vorgestellt.
- Das Projektvorhaben wurde innerhalb einer Präsentation bei der Fa. CHT R. Beitlich GmbH Tübingen vorgestellt.
- Fa. Kaufland wird den Fliesenversuch in der 40. KW im Reutlingen Research Institute besichtigen. Ein Besuchsprogramm ist für Herrn Stegemann von der Bauabteilung und für Herrn Schramm vom internationalen Einkauf für Bodenbeläge organisiert.
- Auf den Homepages des RRI und der Spitzmüller AG wurde je eine Kurzinformation präsentiert.
- Das Projekt erweckte bereits großes Interesse bei der „Reinigungsindustrie“ – so wurde die Thematik bei verschiedenen Firmen präsentiert, z.B. Fa. Vermop, Gilching (Reinigungssysteme, textile Wischbezüge).
- Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Bodenoberflächen, Verschmutzung sowie Reinigungsmedien soll in zukünftigen Kooperationen mit den Firmen weiter untersucht werden.

Fazit

Eine Reduktion des Reinigungsaufwandes und der damit verbundenen Umweltbelastung wurde für gelaserte Bodenplatten im Gegensatz zu anderen Oberflächenbearbeitungen, die die erforderlichen Kriterien erfüllen, durch statistischen Messreihen im Feldversuch nachgewiesen. Von den unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen, die die Bewertungsgruppe der Rutsicherheit ,R9' erfüllen, schneidet die Laserbehandlung hinsichtlich der Reinigungsfähigkeit der Fliesen bei der Unterhaltsreinigung am besten ab. Dies wurde in dieser Projektphase quantifiziert. Die regelmäßige zeitliche Abnutzung der Fliesenoberfläche wurde simuliert. Die Feldversuche bestätigten die Vorteile der gelaserten Fliesen gegenüber bisherigen Oberflächenbehandlungen, die die ,R9' Norm erfüllen.

Mehrere Proben derselben Fliesensorte wurden gemessen und anschließend miteinander verglichen. Dadurch hat sich bewiesen, dass alle Kurven ähnlich verlaufen, somit ist die Reproduzierbarkeit der Messungen innerhalb des Feldversuches als positiv zu vermerken.

Der Vergleich des Reinigungsverhaltens unterschiedlicher oberflächenbehandelten Fliesen wurde verdeutlicht:

- Die Beurteilungskriterien sind nach Reinigungs- und Anschmutzverhalten in Bezug auf die Oberflächenbehandlung, Laserparameter, Fliesenmaterial passend gewählt
- Deutlich ist, dass optimale oberflächenmodifizierte Fliesen mittels Lasertechnik (K-Fliesen) eine gleich gute Reinigungsfähigkeit wie die polierten Fliesen haben können
- Bemerkenswert ist, dass die Padang Dunkel Fliesen eine deutlich höhere Reinigungsfähigkeit als die Feinsteinzeugfliesen haben

Diskriminierung der unterschiedlichen Laserbehandlungen zur Optimierung der Parameter wurde erzielt:

- Zwischen den sieben unterschiedlichen Laserbehandlungen ergibt K4 die besten Ergebnisse bei Padang Dunkel. Bei den FSZ Fliesen zeigt K2 das beste Reinigungsverhalten

Zusätzlich zu den bereits bekannten Beurteilungskriterien (Behandlungsart, Laserparameter, Fliesenmaterial) spielen hier die zwei unterschiedlichen Messmethoden (Stempel-messmethode, Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren) eine große Rolle, da die Ergebnisse auch von der Messmethode abhängig sind.

Deutlich ist, dass die optimalsten laserbehandelten Natursteinoberflächen PD K4 ein mindestens 10% besseres Reinigungsverhalten als die optimalsten gesandeten Oberflächen (FSZ Haid Gesandelt Gesandelt), sowie ein um mindestens 20% besseres Reinigungsvermögen als die geschliffenen Oberflächen aufweist.

Bemerkenswert ist, dass die gelaserten Magna FSZ Fliesen ein bis zu 40% besseres Reinigungsverhalten als die gesandeten Oberflächen und ein 50% besseres als die geschliffenen zeigen. Zwischen den beiden unterschiedlichen Laserbehandlungen (PD K4, FSZ Magna Laser) erzielt K4 die besten Ergebnisse bei der Stempel-messmethode. Bei dem Dampfreiniger-Wassersauger-Filter Verfahren zeigt Magna Laser das beste Reinigungsverhalten.

Alle Auswertungen zeigen, dass die Oberflächenbehandlung mittels Laserung bei der optimalsten Laserparametereinstellung, sowie unabhängig von der benutzten Messmethode beziehungsweise vom verwendeten Material stets das erfolgreichste Ergebnis erzielt.

Daraus ergibt sich, dass eine Amortisation, unabhängig von den Umweltvorteilen, bereits nach zwei Jahren erreicht werden kann. Die LaserGrip - Technologie ist nicht nur Umwelt und Ressourcen schonend, sondern auch sehr wirtschaftlich in gewerblichen Bereichen.

5 Literaturverzeichnis

- [Din01] DINORT, G.: „*Fachtechnologie mit Baustoffkunde für Fliesen-, Platten- und Mosaikleger*“. Verlag Müller, Rudolf (2001)
- [Fah1] FAHRENKROG, H.: „*Naturstein im Alltag, Band1*“, Callwey-Verlag, München (2007)
- [Fah2] FAHRENKROG, H.: „*Naturstein im Alltag, Band2*“, Callwey-Verlag, München (2010)
- [Fri11] FRICK, F: *Ausgerutscht*. Bild der Wissenschaft 3/2011, Seite 106 (2011)
- [FRT12] EUROPÄISCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT REINIGUNGS- UND HYGIENETECHNOLOGIE E.V. (Herausgeber): „*FRT-Leitfaden 'mineralische Bodenbeläge'*“ (2012)
- [Hol08] HOLLÄNDER, B.: 17. Expertengespräch „*Rutschhemmung im Fokus*“. Naturstein 06/2008, Seiten 22 - 30 (2008)
- [Lut10] LUTZ, W.: „*Fachbuch Gebäudereinigung*“. Verlag Lutz, Martin und Andreas Lutz Fachbücher, Herausgeber: Bundesinnungsverband d. Gebäudereiniger-Handwerks; Dettingen/Erms FIGR-Forschungs- u. Prüfinstitut f. Facility Management GmbH (2010)
- [PAT03] THUMM, J. und BAUER J.: „*Verfahren zur Bearbeitung der Oberflächen transparenter Werkstoffe mittels Laserstrahl und nach diesem Verfahren hergestellte Produkte*“. Offenlegungsschrift DE10304371A1, Deutsches Patent- und Markenamt.
- [PAT98] SIEVERS, T; WIEDEMANN, G. und STÜRMER, U.: „*Rutschfester Fußbodenbelag und Verfahren zu seiner Herstellung*“. Europäische Patentschrift EP 082591781, Europäisches Patentamt (1998)

6 Anhänge

Ergebnisse der Ökobilanz von LCEE

Unterhaltsreinigung:

Der Reinigungsintervall beträgt für die geschliffenen Produkte 5 mal wöchentlich und 4 mal wöchentlich für die gelaserten Naturstein (NST)- und Feinsteinzeug (FSZ)- Bodenplatten. Somit sind die Reinigungsintervalle pro Woche bei der Unterhaltsreinigung der gelaserten Naturstein- und Feinsteinzeug- Bodenplatten um 20 % geringer im Vergleich zu den geschliffenen Naturstein- und Feinsteinzeug- Bodenplatten. Die Abbildung 31 stellt die einzelnen Prozesse eines Reinigungszykluses bei der Unterhaltsreinigung (UR) dar.

Unterhaltsreinigung (UR)- Naturstein- und Feinsteinzeug-Bodenplatten geschliffen				
	Pro m ² und Zyklus	Pro m ² im Jahr (240 Zyklen)	Pro m ² in 5 Jahren (1200 Zyklen)	Pro m ² in 15 Jahren (3600 Zyklen)
Wasser (in l)	0,08	19,2	96	288
Wasser (in l) pro Wisch (5m ²)	0,04	9,6	48	7,2
Magic Maxx (Reinigungsmittel in l)	0,0004	0,096	0,48	0,072
Magic Maxx (Reinigungsmittel in l) pro Wisch (5 m ²)	0,0002	0,048	0,24	0,036

Tabelle 13: Wasser- und Reinigungsmengen der UR für geschliffene NST- und FSZ- Bodenplatten

Zwischenreinigung(ZR)- Naturstein- und Feinsteinzeug-Bodenplatten gelasert				
	Pro m ² und Zyklus	Pro m ² im Jahr (192 Zyklen)	Pro m ² in 5 Jahren (960 Zyklen)	Pro m ² in 15 Jahren (2880 Zyklen)
Wasser (in l)	0,064	12,288	61,44	184,32
Wasser (in l) pro Wisch (5m ²)	0,032	6,144	30,72	92,16
Magic Maxx (Reinigungsmittel in l)	0,00032	0,06144	0,3072	0,9216
Magic Maxx (Reinigungsmittel in l) pro Wisch (5 m ²)	0,00016	0,03072	0,1536	0,4608

Tabelle 14: Wasser- und Reinigungsmengen der UR für gelaserte NST- und FSZ- Bodenplatten

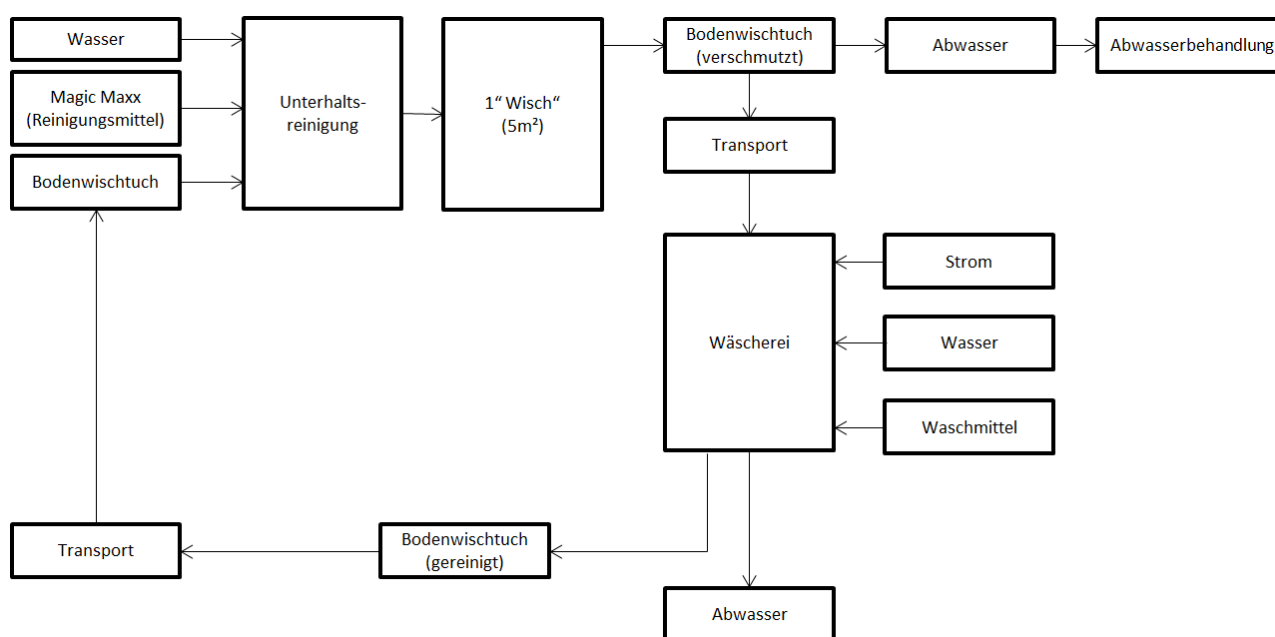


Abbildung 31: Reinigungszyklus-Unterhaltsreinigung

	UR NST- und FSZ- Bodenplatte geschliffen in 5 Jahren (1200 Zyklen) je m ²	UR NST- und FSZ- Bodenplatte geschliffen in 5 Jahren (960 Zyklen) je m ²	Einsparungen pro Zyklus
Primärenergie (nicht regenerierbar und regenerierbar) in [MJ]	17381	13905	20%
Treibhauspotenzial [kg.CO2-Äqv.]	1049	839	20%
Wasserverbrauch [m ³]	2027	1621	20%

Tabelle 15: Umweltwirkungen bei der UR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ- Bodenplatten nach 5 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend

	UR NST- und FSZ- Boden- platte geschlif- fen nach 15 Jahren (3600 Zyklen) je m ²	UR NST- und FSZ- Boden- platte gelasert in 15 Jahren (2880 Zyklen) je m ²	Einsparungen pro Zyklus
Primärenergie (nicht regenerierbar und regenerierbar) in [MJ]	52142	41714	20%
Treibhauspotenzial [kg.CO ₂ -Äqv.]	3147	2517	20%
Wasserverbrauch [m ³]	6080	4864	20%

Tabelle 16: Umweltwirkungen bei der UR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ- Bodenplatten nach 15 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend

Zwischenreinigung

Pro Betriebsjahr sind für die geschliffenen Naturstein- und Feinsteinzeug- Bodenplatten 12 Zwischenreinigungsintervalle durchzuführen. Aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit sind für die gelaserten Naturstein- und Feinsteinzeug- Bodenplatten keine Zwischenreinigungen (ZR) notwendig. Somit betragen die Einsparungen der gelaserten NST- und FSZ- Bodenplatten gegenüber den geschliffenen Bodenplatten 100 %.

Zwischenreinigung(ZR)- Naturstein- und Feinsteinzeug-Bodenplatten geschliffen				
	Pro m ² und Zyklus	Pro m ² im Jahr (12 Zyklen)	Pro m ² in 5 Jahren (60 Zyklen)	Pro m ² in 15 Jahren (180 Zyklen)
Wasser (in l)	0,08	0,96	4,8	14,4
Wasser (in l) pro Wisch (5m ²)	0,08	0,96	4,8	14,4
Magic Maxx (Reinigungsmittel in l)	0,00064	0,00768	0,0384	0,1152
Magic Maxx (Reinigungsmittel in l) pro Wisch (5 m ²)	0,00064	0,00768	0,0384	0,1152

Tabelle 17: Wasser- und Reinigungsmengen der geschliffenen NST- und FSZ- Bodenplatten bei der Zwischenreinigung. Bei gelaserten Platten steht in der Tabelle überall der Wert 0.

	ZR NST- und FSZ- Boden- platte geschlif- fen nach 5 Jahren (60 Zyklen) je m ²	ZR NST- und FSZ- Boden- platte gelasert nach 5 Jahren (0 Zyklen)	Einsparungen pro Zyklus
Primärenergie (nicht regenerierbar und regenerierbar) in [MJ]	870	0	100%
Treibhauspotenzial [kg.CO ₂ -Äqv.]	52	0	100%
Wasserverbrauch [m ³]	101	0	100%

Tabelle 18: Umweltwirkungen bei der ZR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ- Bodenplatten nach 5 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend

	ZR NST- und FSZ- Bodenplatte geschliffen nach 15 Jahren (180 Zyklen) je m ²	ZR NST- und FSZ- Bodenplatte gelasert nach 15 Jahren je m ² (0 Zyklen)	Einsparungen pro Zyklus
Primärenergie (nicht regenerierbar und regenerierbar) in [MJ]	2609	0	100%
Treibhauspotenzial [kg.CO ₂ -Äqv.]	157	0	100%
Wasserverbrauch [m ³]	304	0	100%

Tabelle 19: Umweltwirkungen bei der ZR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ- Bodenplatten nach 15 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend

Grundreinigung

Die Grundreinigung erfolgt alle 6 Monate (2 mal jährlich) bei den geschliffenen Naturstein- und Feinsteinzeug- Bodenplatten. Bei den gelaserten Naturstein- und Feinsteinzeug- Bodenplatten soll die Grundreinigung alle 9 Monate ausgeführt werden. Somit ist die Reinigungshäufigkeit um 33 % geringer als bei den geschliffenen Naturstein- und Feinsteinzeug- Bodenplatten. Im Gegensatz zur Unterhaltsreinigung und Zwischenreinigung sind die Umweltwirkungen zusätzlich nach 5 und 15 Jahren bilanziert worden.
Effekte von Insgesamt

	GR NST- und FSZ- Bodenplatte geschliffen nach 5 Jahren (10 Zyklen) je m ²	GR NST- und FSZ- Bodenplatte gelasert nach 5 Jahren (6 Zyklen) je m ²	Einsparungen pro Zyklus
Primärenergie (nicht regenerierbar und regenerierbar) in [MJ]	294	118	60%
Treibhauspotenzial [kg.CO ₂ -Äqv.]	13	5	60%
Wasserverbrauch [m ³]	20	8	60%

Tabelle 20: Umweltwirkungen bei der GR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ- Bodenplatten nach 5 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend

	GR NST- und FSZ Bodenplatte geschliffen nach 15 Jahren (30 Zyklen) je m ²	GR NST- und FSZ- Bodenplatte gelasert nach 15 Jahren (20 Zyklen) je m ²	Einsparungen pro Zyklus
Primärenergie (nicht regenerierbar und regenerierbar) in [MJ]	882	394	55%
Treibhauspotenzial [kg.CO ₂ -Äqv.]	40	18	55%
Wasserverbrauch [m ³]	60	27	55%

Tabelle 21: Umweltwirkungen bei der GR der geschliffenen und gelaserten NST- und FSZ- Bodenplatten nach 15 Jahren; Einsparungen gelten für alle anderen Punkte entsprechend

Werte für die Herstellung der Farbtafel

		Delta E Referenzmuster	Nächstes Delta E	L*	C*	h*	R	G	B
POLIERT	Farbabstand Tuch 1	18,5	18,2	90	4	79	231	226	219
	Farbabstand Tuch 2	10,7	11,1	92	3	86	235	232	226
	Farbabstand Tuch 3	7,7	6,8	93	3	90	237	235	229
GESCHLIFFEN K120	Farbabstand Tuch 1	26,2	27,0	86	5	70	222	214	206
	Farbabstand Tuch 2	18,6	19,0	88	5	79	227	220	211
	Farbabstand Tuch 3	16,1	16,2	88	5	81	226	220	211
GESANDELT	Farbabstand Tuch 1	26,1	25,4	86	6	72	223	214	204
	Farbabstand Tuch 2	21,3	22,9	92	3	81	236	232	226
	Farbabstand Tuch 3	19,9	19,4	86	6	78	222	214	204
K2	Farbabstand Tuch 1	27,4	26,2	89	4	76	229	223	216
	Farbabstand Tuch 2	22,0	22,6	91	3	81	233	229	224
	Farbabstand Tuch 3	18,8	19,4	91	3	82	233	229	224
K4	Farbabstand Tuch 1	17,6	18,1	89	5	80	229	223	214
	Farbabstand Tuch 2	11,8	11,4	91	3	86	232	229	223
	Farbabstand Tuch 3	11,3	10,5	91	3	84	232	229	224
K1	Farbabstand Tuch 1	19,2	18,1	89	4	79	228	223	216
	Farbabstand Tuch 2	15,4	14,8	91	4	83	234	229	222
	Farbabstand Tuch 3	12,6	11,4	91	3	86	232	229	223

Umrechnung von LCh* Werte in RGB Werte

LCh*			
L	C	h°	h radiant
93,00	10,00	278,00	4,85
98,00	3,00	275,00	4,80
90,00	4,00	79,00	1,38
92,00	3,00	86,00	1,50
93,00	3,00	90,00	1,57
86,00	5,00	70,00	1,22
88,00	5,00	79,00	1,38
88,00	5,00	81,00	1,41
86,00	6,00	72,00	1,26
92,00	3,00	81,00	1,41
86,00	6,00	78,00	1,36
89,00	4,00	76,00	1,33
91,00	3,00	81,00	1,41
91,00	3,00	82,00	1,43
89,00	5,00	80,00	1,40
91,00	3,00	86,00	1,50
91,00	3,00	84,00	1,47
89,00	4,00	79,00	1,38
91,00	4,00	83,00	1,45
91,00	3,00	86,00	1,50
h radiant = Pi/180*h°			

Lab			
cos(h)	sin(h)	a	b
0,14	-0,99	1,39	-9,90
0,09	-1,00	0,26	-2,99
0,19	0,98	0,76	3,93
0,07	1,00	0,21	2,99
0,00	1,00	0,00	3,00
0,34	0,94	1,71	4,70
0,19	0,98	0,95	4,91
0,16	0,99	0,78	4,94
0,31	0,95	1,85	5,71
0,16	0,99	0,47	2,96
0,21	0,98	1,25	5,87
0,24	0,97	0,97	3,88
0,16	0,99	0,47	2,96
0,14	0,99	0,42	2,97
0,17	0,98	0,87	4,92
0,07	1,00	0,21	2,99
0,10	0,99	0,31	2,98
0,19	0,98	0,76	3,93
0,12	0,99	0,49	3,97
0,07	1,00	0,21	2,99
$a = C \cdot \cos(h); b = C \cdot \sin(h)$			

XYZ					
f(y)	f(x)	f(z)	f(x) ³	f(y) ³	f(z) ³
0,94	0,94	0,99	0,84	0,83	0,97
0,98	0,98	1,00	0,95	0,95	0,99
0,91	0,92	0,89	0,77	0,76	0,71
0,93	0,93	0,92	0,81	0,81	0,77
0,94	0,94	0,92	0,83	0,83	0,79
0,88	0,88	0,86	0,69	0,68	0,63
0,90	0,90	0,87	0,73	0,72	0,66
0,90	0,90	0,87	0,72	0,72	0,66
0,88	0,88	0,85	0,69	0,68	0,62
0,93	0,93	0,92	0,81	0,81	0,77
0,88	0,88	0,85	0,69	0,68	0,61
0,91	0,91	0,89	0,75	0,74	0,69
0,92	0,92	0,91	0,79	0,78	0,75
0,92	0,92	0,91	0,79	0,78	0,75
0,91	0,91	0,88	0,75	0,74	0,68
0,92	0,92	0,91	0,79	0,78	0,75
0,92	0,92	0,91	0,79	0,78	0,75
0,91	0,91	0,89	0,75	0,74	0,69
0,92	0,92	0,90	0,79	0,78	0,74
0,92	0,92	0,91	0,79	0,78	0,75
$f(y) = (L+16)/116; f(x) = a/500+f(y); f(z) = f(y)-(b/200)$					

xr	yr	zr	Xr	Yr	Zr
0,84	0,83	0,97	0,95	1,00	1,09
0,95	0,95	0,99	0,95	1,00	1,09
0,77	0,76	0,71	0,95	1,00	1,09
0,81	0,81	0,77	0,95	1,00	1,09
0,83	0,83	0,79	0,95	1,00	1,09
0,69	0,68	0,63	0,95	1,00	1,09
0,73	0,72	0,66	0,95	1,00	1,09
0,72	0,72	0,66	0,95	1,00	1,09
0,69	0,68	0,62	0,95	1,00	1,09
0,81	0,81	0,77	0,95	1,00	1,09
0,69	0,68	0,61	0,95	1,00	1,09
0,75	0,74	0,69	0,95	1,00	1,09
0,79	0,78	0,75	0,95	1,00	1,09
0,79	0,78	0,75	0,95	1,00	1,09
0,75	0,74	0,68	0,95	1,00	1,09
0,79	0,78	0,75	0,95	1,00	1,09
0,79	0,78	0,75	0,95	1,00	1,09
0,75	0,74	0,69	0,95	1,00	1,09
0,79	0,78	0,74	0,95	1,00	1,09
0,79	0,78	0,75	0,95	1,00	1,09
if $f(x)^3 > \varepsilon \Rightarrow xr = f(x)^3$ if $L > \kappa\varepsilon \Rightarrow yr = f(y)^3$ if $f(z)^3 > \varepsilon \Rightarrow zr = f(z)^3$					

X	Y	Z
0,80	0,83	1,05
0,90	0,95	1,08
0,73	0,76	0,78
0,77	0,81	0,84
0,79	0,83	0,86
0,65	0,68	0,68
0,69	0,72	0,72
0,69	0,72	0,72
0,65	0,68	0,67
0,77	0,81	0,84
0,65	0,68	0,67
0,71	0,74	0,76
0,75	0,78	0,81
0,75	0,78	0,81
0,71	0,74	0,74
0,75	0,78	0,81
0,75	0,78	0,81
0,71	0,74	0,76
0,75	0,78	0,80
0,75	0,78	0,81
$X = xr * Xr$	$Y = yr * Yr$	$Z = zr * Zr$

hier XYZ Werte [0-1];
 *100 für die Werte [1-100]

RGB					
var_R	var_G	var_B	Matrix gegebenen Zahlen für die Umrechnung in RGB		
0,78	0,83	0,99	3,2404542	-1,5371385	-0,4985314
0,93	0,95	1,00	-0,9692660	1,8760108	0,0415560
0,80	0,76	0,71	0,0556434	-0,2040259	1,0570000
0,83	0,80	0,76			
0,85	0,83	0,78			
0,73	0,67	0,62			
0,77	0,71	0,65			
0,76	0,71	0,65			
0,74	0,67	0,61			
0,84	0,80	0,76			
0,73	0,67	0,60			
0,78	0,74	0,69			
0,81	0,78	0,74			
0,81	0,78	0,74			
0,79	0,74	0,67			
0,81	0,78	0,74			
0,81	0,78	0,74			
0,78	0,74	0,69			
0,82	0,78	0,73			
0,81	0,78	0,74			
Matrix zwischen XYZ [0-1] Werte und gegebenen Zahlen					

Werte [0-1]

R	G	B
0,89	0,92	1,00
0,97	0,98	1,00
0,91	0,88	0,86
0,92	0,91	0,89
0,93	0,92	0,90
0,87	0,84	0,81
0,89	0,86	0,83
0,89	0,86	0,83
0,88	0,84	0,80
0,92	0,91	0,89
0,87	0,84	0,80
0,90	0,87	0,85
0,91	0,90	0,88
0,91	0,90	0,88
0,90	0,87	0,84
0,91	0,90	0,88
0,91	0,90	0,88
0,90	0,87	0,85

0,92	0,90	0,87
0,91	0,90	0,88
var_R, var_G, var_B > 0,0031308 => $R = 1,055 * (\text{var_R}^{(1/2,4)}) - 0,055$ $G = 1,055 * (\text{var_G}^{(1/2,4)}) - 0,055$ $B = 1,055 * (\text{var_B}^{(1/2,4)}) - 0,055$		

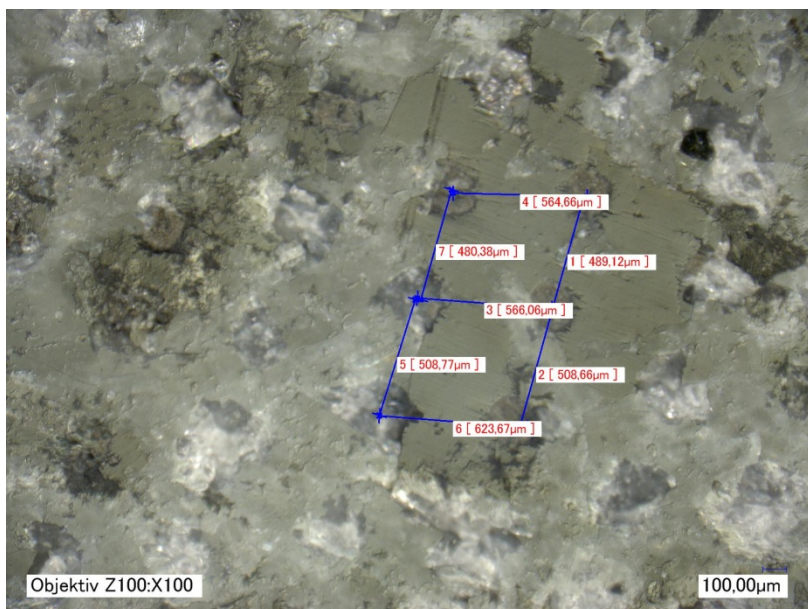
Werte [0-255]

R	G	B
228	235	254
247	249	255
231	226	219
235	232	226
237	235	229
222	214	206
227	220	211
226	220	211
223	214	204
236	232	226
222	214	204
229	223	216
233	229	224
233	229	224
229	223	214
232	229	223
232	229	223
228	223	216
234	229	222
232	229	223
R = R*255	G = G*255	B = B*255

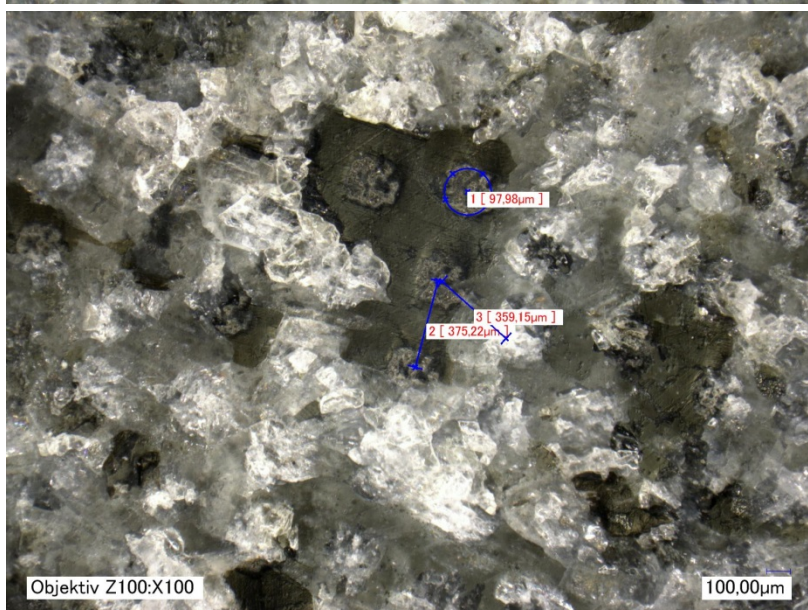
Laserparameter K1 – K7

Reihe	Stom	X Raster	Y Raster	Frequenz [Hz]	Vorschub [m/min]	ext X [mm]	ext Y [mm]
1	max/opt.	0,5	0,5	5500	0,270	0,25	0,33
2	max/opt.	0,5	0,5	5600	0,275	0,25	0,33
3	max/opt.	0,5	0,5	5700	0,280	0,25	0,31
4	max/opt.	0,5	0,5	5800	0,285	0,25	0,30
5	max/opt.	0,5	0,5	5900	0,290	0,25	0,30
6	max/opt.	0,5	0,5	6000	0,295	0,25	0,26
7	max/opt.	0,5	0,5	6200	0,305	0,25	0,25
8	max/opt.	0,5	0,5	6400	0,315	0,25	0,25
9	max/opt.	0,5	0,5	6800	0,334	0,25	0,24
10	max/opt.	0,5	0,5	7000	0,344	0,27	0,24

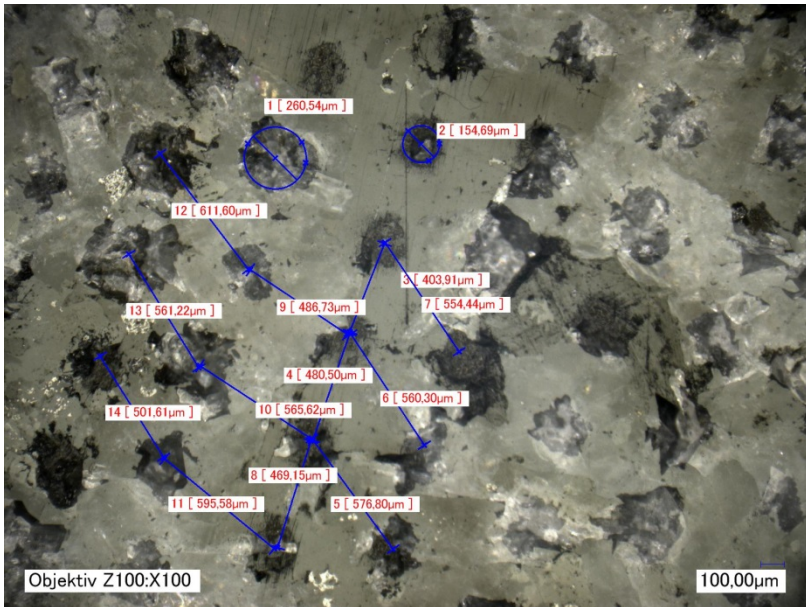
Padang Dunkel - Abstandsmessung zwischen Laserungen mit dem Digitalmikroskop KEYENCE VHX 1000



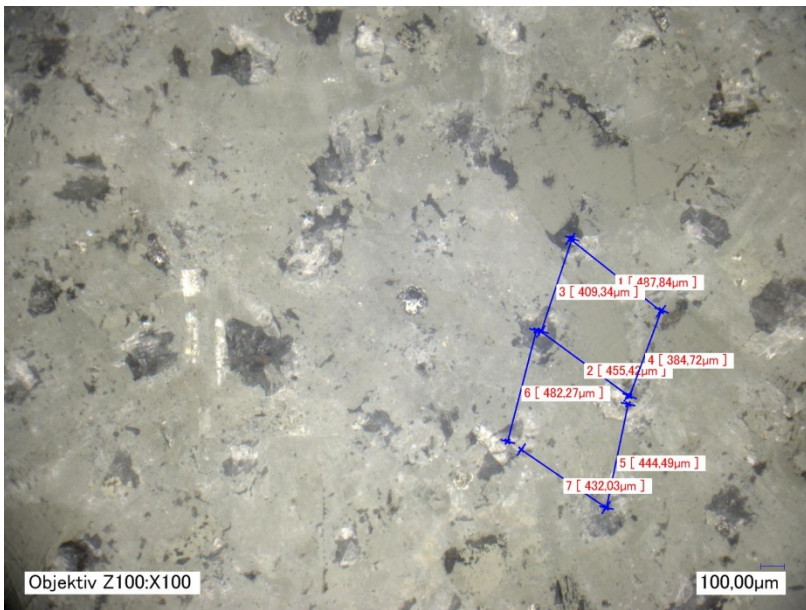
K1



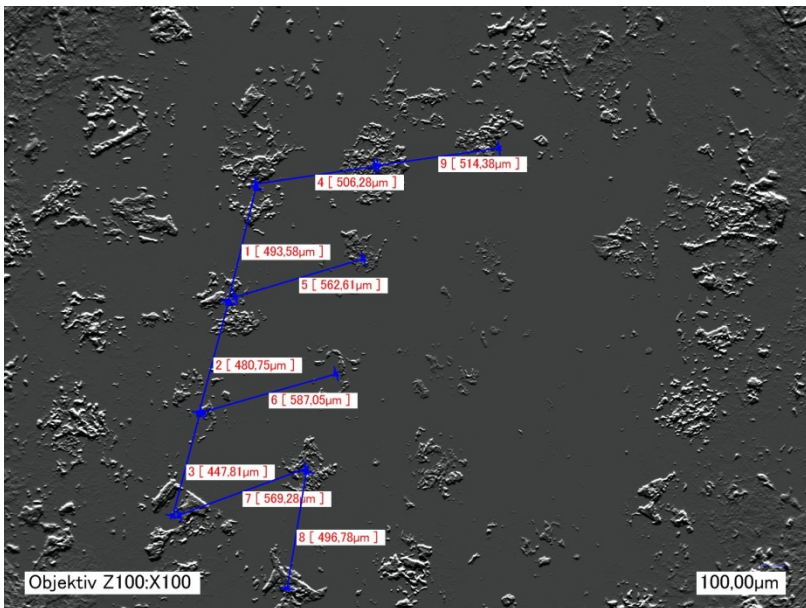
K2



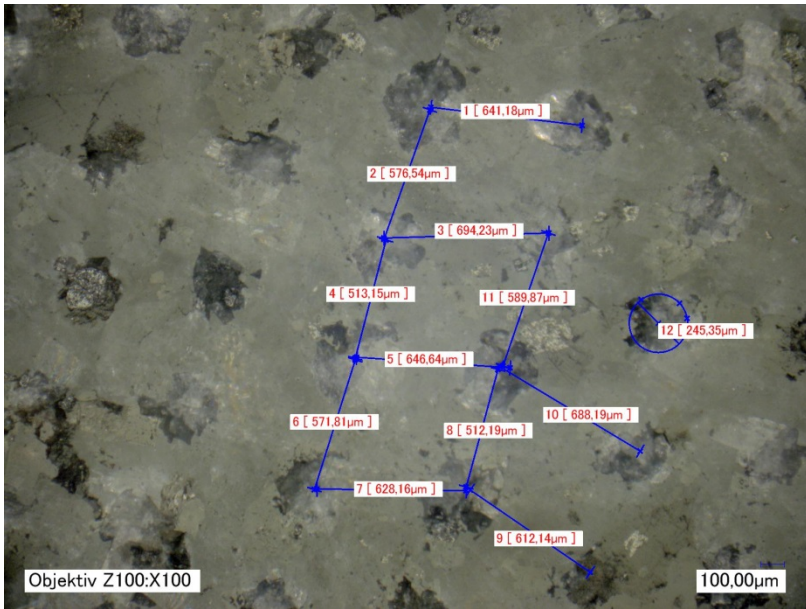
K3



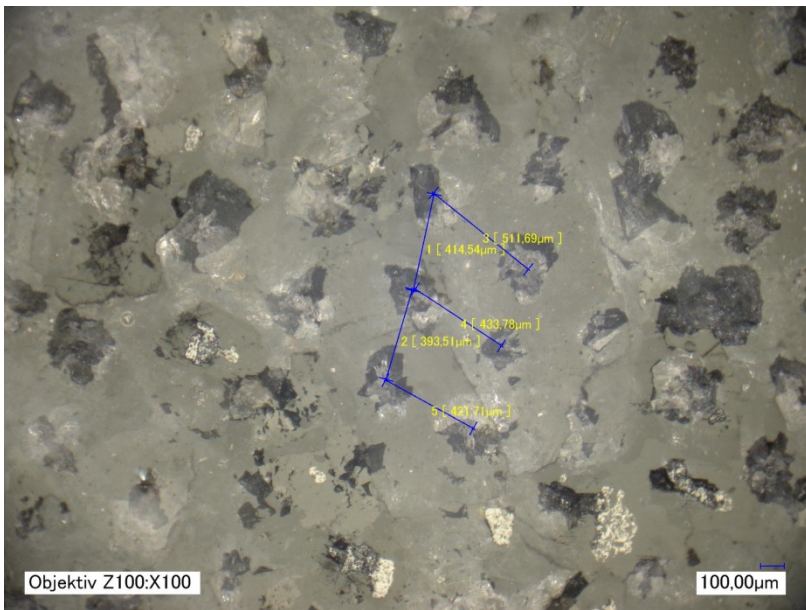
K4



K5



K6









K7

Reinigungsmittel Ecolab®

Maxx-Range

Die Ecolab maxx-Range enthält alle Produkte, die für die tägliche und periodische Reinigung benötigt werden. Maxx steht für leistungsstarke Reiniger, die schneller Ergebnisse liefern und somit Kosten optimieren.

INHALTSSTOFFE/EIGENSCHAFTEN

	Amido-sulfon-säure-basis	andere Säure-basis	Lino-leum-geeig-net	Ammo-niakfrei	RK-Listung	Uni-versal-grund-reiniger	pH-conc. ca.	pH-Anwen-dungs-konzen-tration	Anwendung
  Magic maxx Ultranetzender Hochleistungsreiniger <ul style="list-style-type: none"> • maximale Reinigungsleistung und rückstandsfreie Reinigung • einzigartige Tensidbasis • ökozertifiziert und Fett-/Ölabscheider gepr. • für manuelle und maschinelle Reinigung Kart. m. 12 x 1 L Fl. 3045460 Kart. m. 2 x 5 L Kan. 3045440 Fass 200 kg 3045770			■	■	■		10	7	   

Reinigungszubehör Ecolab®



In der Praxis führt die Reinigung mit rasanTEC® zu einem deutlich besseren und zugleich hygienischeren Reinigungsergebnis. Die spezielle Zusammensetzung der rasanTEC® Mikrofaser sorgt für eine optimale Flottenaufnahme und entsprechend hohe und gleichmäßige Flottenabgabe der Bezüge. Auf Grund des gleichmäßigen Aufbaus der rasanTEC® Faser können Schmutz und Staub sehr leicht ausgewaschen werden. Alle rasanTEC® star Mikrofaserbezüge weisen ein ideales Waschverhalten auf. rasanTEC® ist das ideale System für alle, die schnell und mit wenig Aufwand ein hervorragendes Ergebnis erreichen wollen.

Größe / Artikelnummer	 rasanTEC® Halter	 rasanTEC® Mono star
	Spezialhalter für das rasanTEC® System 40 cm / 10177429	Hochleistungswischbezug Mono 40 cm / 10000001
Lieferumfang	25 Stk. im Karton	50 Stk. im Karton
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> • Abwerfen der Bezüge ohne Bücken • mit Magnetverschluss • vollflächige Auflage • extrem stabil • autoklavierbar: max. 20 min bei 120 °C • 10 Jahre Gewährleistung 	<ul style="list-style-type: none"> • modernste Mikrofaser mit hoher Lebensdauer • optimale Reinigungsleistung auf allen Belägen • hervorragendes Gleitverhalten für ergonomisches Arbeiten • hohe Wasseraufnahme für hohe Flächenleistung • geringes Bezugsgewicht für weniger Washkosten • auf alle gängigen Reinigungs-verfahren adaptierbar • Druck ab 500 Stk.



Staubarten

Arizona-Staub: Chemische Zusammensetzung (nach SAE J726 Rev. JUN93)

Bezeichnung	Gewichts-%
SiO ₂	65 - 76
Al ₂ O ₃	11 - 17
Fe ₂ O ₃	2,5 - 5,0
Na ₂ O	2 - 4
CaO	3 - 6
MgO	0,5 - 1,0
TiO ₂	0,1
V ₂ O ₃	0,1
ZrO	0,1
BaO	0,1

Partikelverteilung nach Gewichts-%

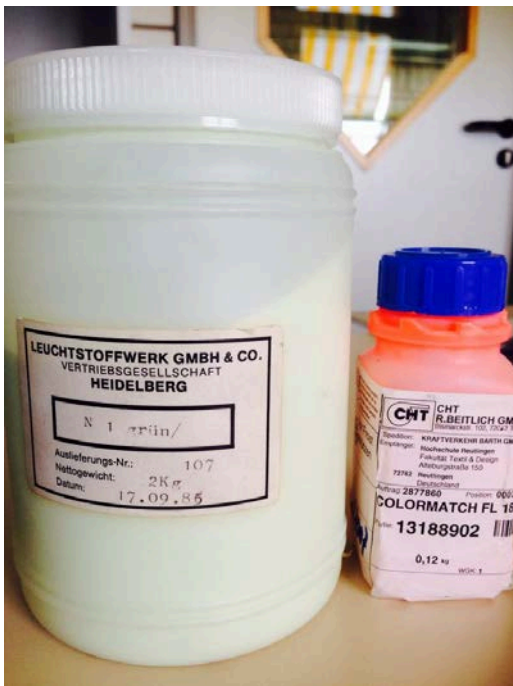
Partikelgröße in um	fein	grob
0 - 5	39	12
5 - 10	18	12
10 - 20	16	14
20 - 40	18	23
40 - 80	9	30
80 - 200		9

Prüfstaub nach DIN 40050 – 9 Ausgabe: 1993 – 05, Straßenfahrzeuge

Zusammensetzung: 50 % Gewichtsanteile Mineralische Komponenten (CaCO₃, SiO₂)
50 % Gewichtsanteile Flugachse

Kornverteilung: 33 % Gewichtsanteile ≤ 32 um
67% Gewichtsanteile > 32 um, aber ≤ 250 um

Farbpigmente



Leuchtfarbstoffe (grün, orange)

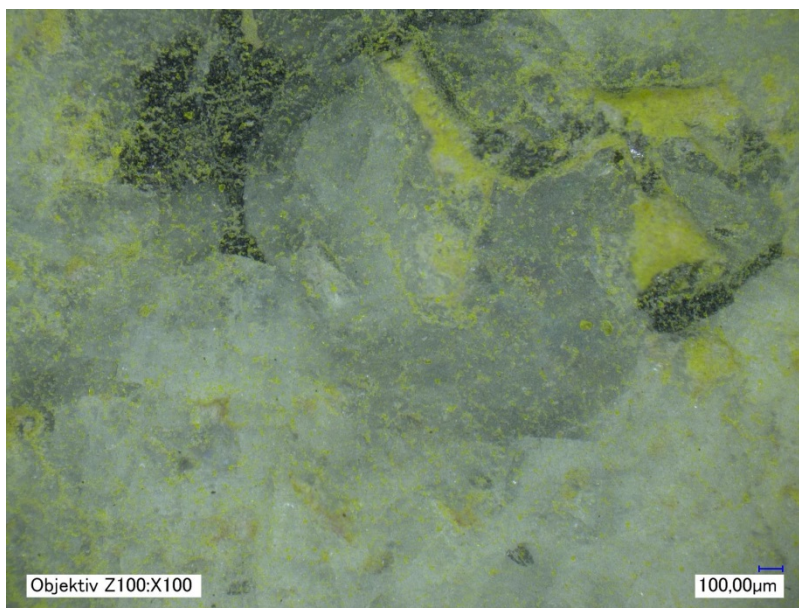
Producer	Type	Chemical composition	d ₅₀ [μm]	E _{max} [nm]	Luminescent behavior	
					According to DIN 67510, Teil 1	mcd/m ² @60min
Leuchtstoffwerk	Leutalux® N1/SL	Strontium aluminate; Eu, Dy	18.6	520	254/36-2000-W-K	36
Leuchtstoffwerk	Leutalux® N1/S	ZnS.Cu.Co	34	528	27/4,9-1000-W-K	4.9

Quelle: applied-innovative-materials.com/cetest-firstpage/patente/; Patent: EP 1816178 (A1) Moulding compounds containing luminescent pigments

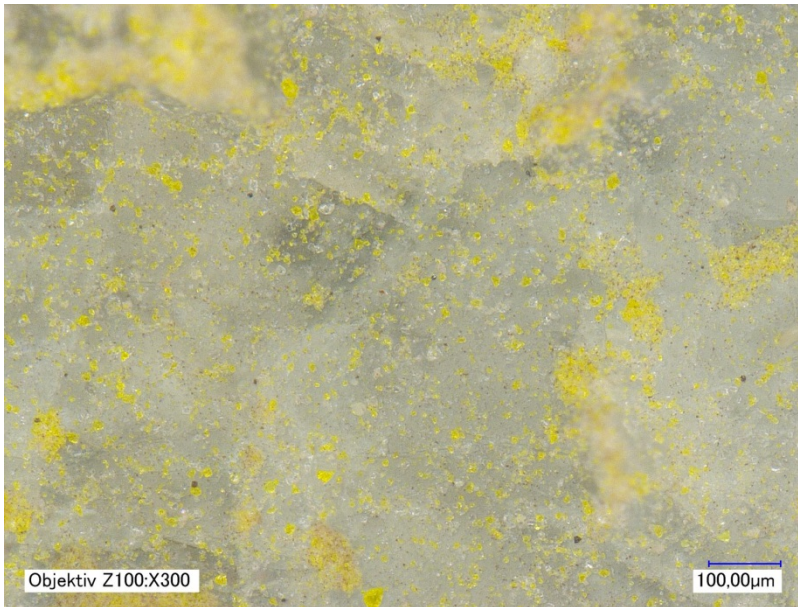
COLORMATCH-Pigmentsysteme	COLORMATCH FL-Fluorfarben
Charakterisierung	Konzentrierte Farbpigmentteige zum Einfärben wasserbasierender Siebdruckpasten und Kleberdispersionen
Chemische Aufbau	Angeteigte, blei- und metallfreie Farbpigmente (mit Ausnahme der Blau- und Grüntöne)
Aussehen	Niedrig- bis mittelviskose Farbteige in derzeit 6 Fluorfarbtönen laut Farbkarte
Eigenschaften	Die Standardfarben führen bereits in geringen Einsatzkonzentrationen (bis 6,0 % in Transparentpasten für helle Substrate) zu hoher Farbtiefe und können daher sehr sparsam verwendet werden
Farbkonzentrationen	im Allgemeinen zwischen 5,0 - 20,0 %
Lichtechtheitsnoten	zwischen 2 - 3

Quelle: COLORMATCH-Pigmentsysteme; Ausgabe: Oktober 2008, CHT R. BEITLICH GMBH

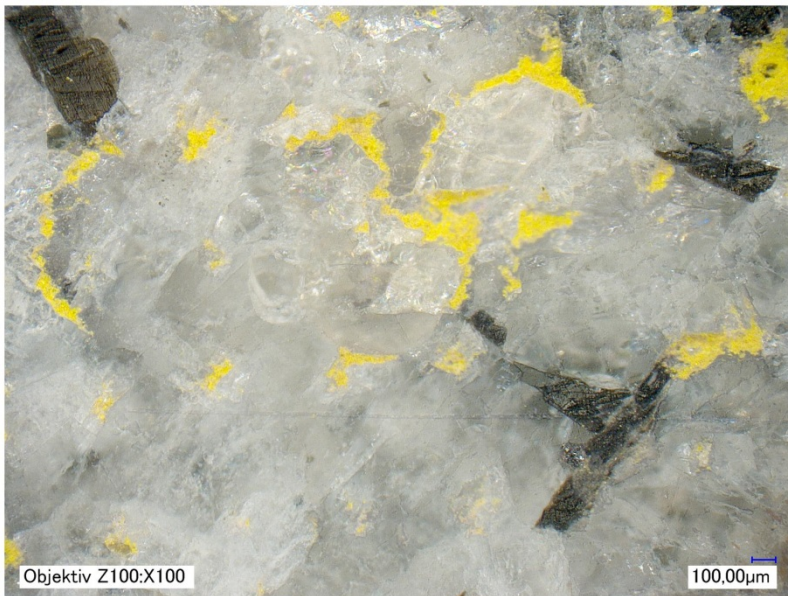
Digitalmikroskopische Aufnahmen von den Fliesenoberflächen mit angefärbtem Prüfstaub



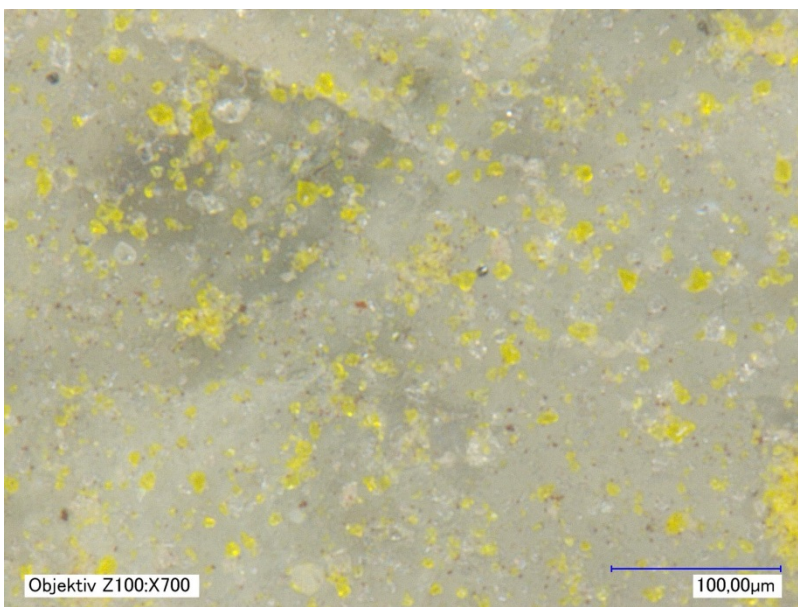
Arizona – grün – vor dem Wischen



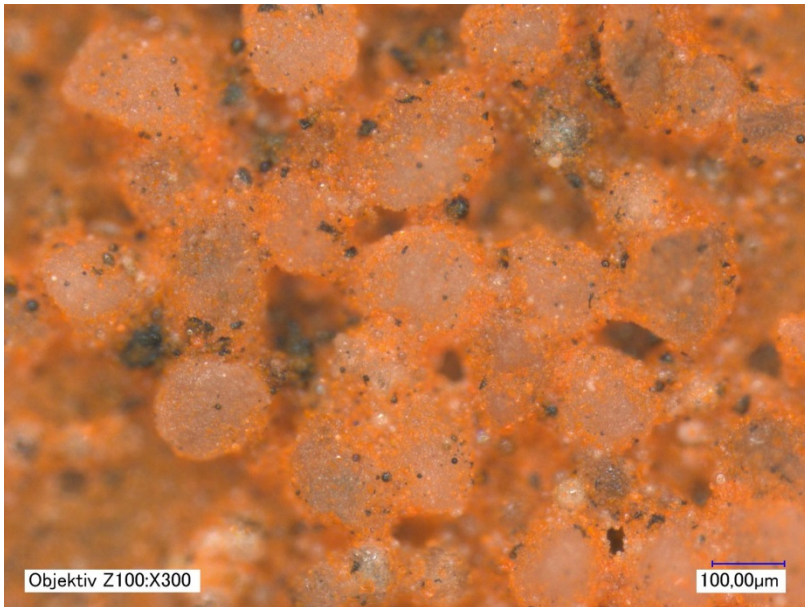
Arizona – grün – vor dem Wischen



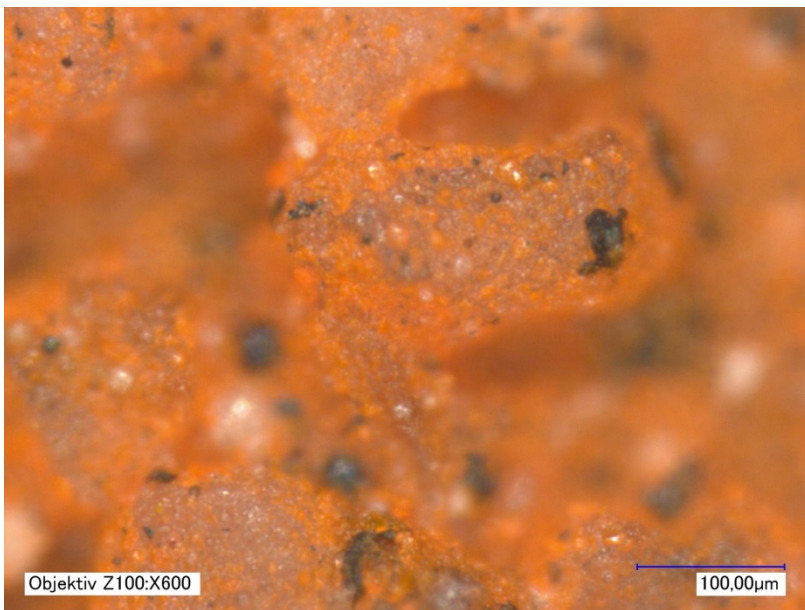
Arizona – grün – nach dem Wischen



Arizona – grün – nach dem Wischen



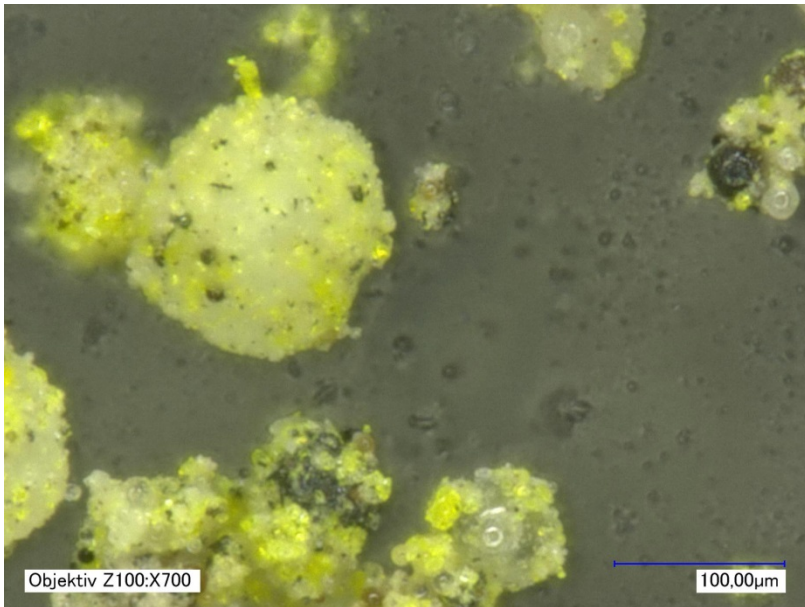
Teststaub – orange – vor dem Wischen



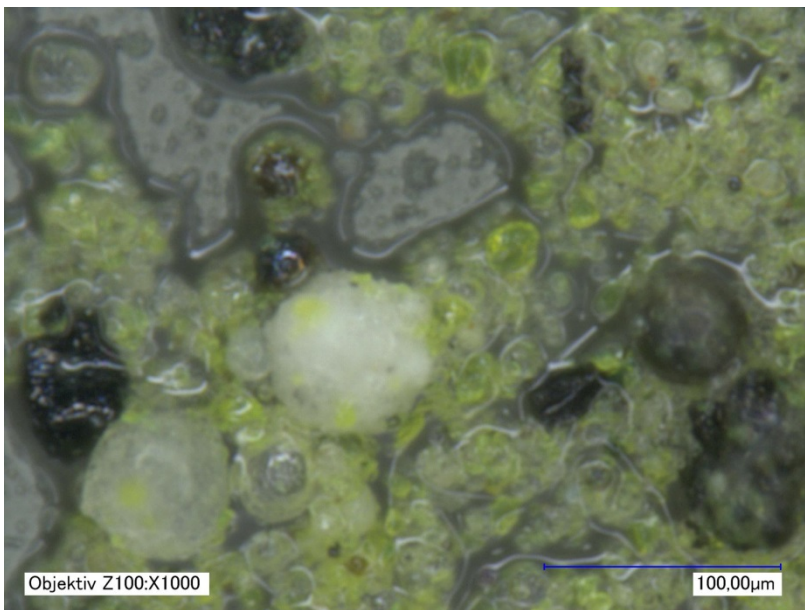
Teststaub – orange – vor dem Wischen



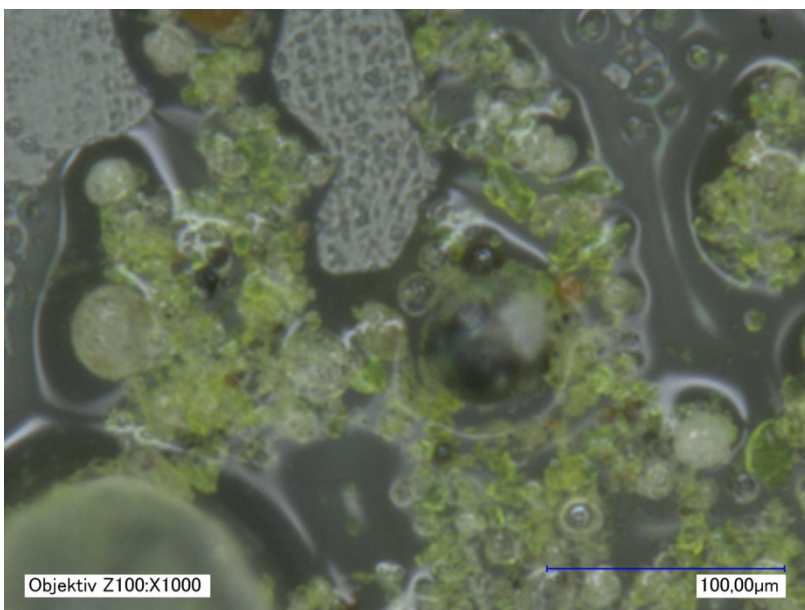
Teststaub – orange – vor dem Wischen



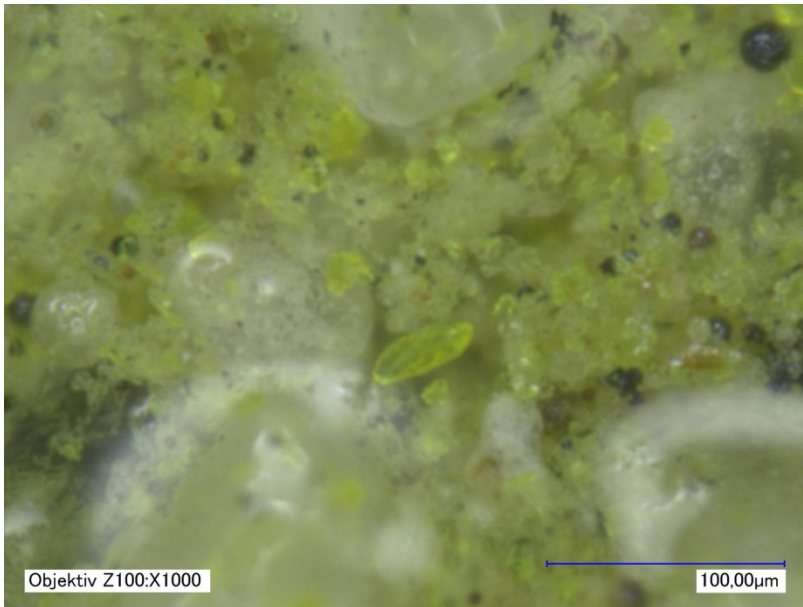
Teststaub – grün – nach dem Wischen



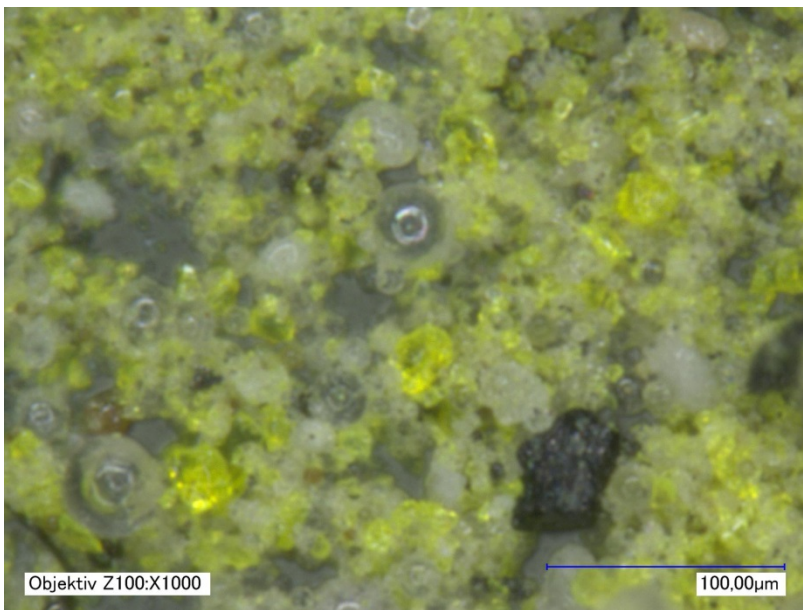
Teststaub – grün – nach dem Wischen



Teststaub – grün – nach dem Wischen



Teststaub – grün – nach dem Wischen



Teststaub – grün – nach dem Wischen